CENTRE INTERNATIONAL DE SYNTHÈSE
FONDATEUR : HENRI BERR

SECTION D'HISTOIRE DES SCIENCES

REVUE D'HISTOIRE DES SCIENCES

ET DE LEURS APPLICATIONS

Direction : SUZANNE DELORME et RENÉ TATON

REVUE PUBLIÉE AVEC LE CONCOURS DU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Tome XIII - N° 3 **Juillet-Septembre 1960**

SOMMAIRE

Hâmid DILGAN. — Démonstration du V^e^ Postulat d'Euclide par Schams-ed-Din Samarkandi. Traduction de l'ouvrage *Aschkâl-üt-teessis* de Samarkandi.

Alexandre KOYRÉ. — Le *De Motu Gravium* de Galilée. De l'expérience imaginaire, et de son abus.

D^r^ Paul CHAUCHARD. — A propos du Cinquantenaire de la Chronaxie : l'importance de l'œuvre de Louis Lapicque en Neurophysiologie.

DOCUMENTATION ET INFORMATIONS
ANALYSES D'OUVRAGES
(Voir au dos)

PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE

PUBLICATION TRIMESTRIELLE

CENTRE INTERNATIONAL DE SYNTHÈSE

Fondateur : Henri BERR

Section d'Histoire des Sciences

REVUE D'HISTOIRE DES SCIENCES

ET DE LEURS APPLICATIONS

PARAISSANT TOUS LES TROIS MOIS

Fondateur : Pierre BRUNET

Direction : Suzanne DELORME, René TATON

Centre International de Synthèse (Section d'Histoire des Sciences)

12, rue Colbert, Paris (2e)

Administration : **Presses Universitaires de France**

108, boulevard Saint-Germain, Paris (6e)

Abonnements : **Presses Universitaires de France**

1, place Paul-Painlevé, Paris (5e)

Tél. ODÉon 64-10 — Compte Chèques Postaux : Paris 392-33

Année 1961 (4 numéros) : France, Communauté, NF. 16 ». Étranger, NF. 18 »

États-Unis et Canada, $ 3.60. Grande-Bretagne et Commonwealth, £ 1/6s

Prix du numéro : NF. 5 »

AVIS IMPORTANT. — *Les demandes en duplicata des numéros non arrivés à destination ne pourront être admises que dans les quinze jours qui suivront la réception du numéro suivant.*

Il ne sera tenu compte d'une demande de changement d'adresse que si elle est accompagnée de la somme de 1 NF.

Suite du Sommaire :

DOCUMENTATION. — *Du nouveau sur Colladon, précurseur de Mendel* (Jean ROSTAND).

INFORMATIONS. — *Suisse :* 500e anniversaire de l'Université de Bâle (J. THÉODORIDÈS). — *Yougoslavie :* L'Institut d'Histoire des Sciences de Zagreb.

ANALYSES D'OUVRAGES. — A.-L. LEROY, *George Berkeley* (S. MOSCOVICI). — *Critical Problems in the History of Science*, ed. M. CLAGETT (S. MOSCOVICI). — V. P. ZOUBOV, *Istoriografiya estestvennyh nauk v Rossii (XVIII v. pervaya polovina XIX v.)* (M. D. GRMEK). — Ch. MUGLER, *Dictionnaire historique de la terminologie géométrique des Grecs.* T. I : *Introduction, Répertoire géométrique, Lettres A à K.* T. II : *Logos à la fin* (J. ITARD). — V. CARAVELLI, *Le Traité des hosoèdres*, trad. P. VER EECKE (J. ITARD). — Cl.-G. BACHET, *Problèmes plaisants et délectables qui se font par les nombres* (J. ITARD). — Ed. LUCAS, *Récréations mathématiques* (J. ITARD). — EUCLIDE, *L'Optique et la Catoptrique*, trad. P. VER EECKE (J. ITARD). — *Catalogo dei Globi Antichi conservati in Italia* : fasc. 1, L. LUZIO, *I Globi Blaviani ;* fasc. 2, M. L. BONELLI, *I Globi di Vincenzo Coronelli* (S. COLNORT). — J. MAC LEAN, *De historische Outwikkeling der Stootwetten van Aristoteles tot Huygens* (S. MOSCOVICI). — J. GILLIS, *De geschiedenis van de benoeming van August Kekulé te Gent en de oprichting van het eerste onderrichtslaboratorium voor scheikunde in Belgie* (J. JACQUES). — H. L. LI, *The Garden Flowers of China* (F. MOREAU). — A. HUGHES, *A History of Cytology* (J. THÉODORIDÈS). — P. DI PIETRO, *Breve storia dell' Ematologia* (J. THÉODORIDÈS). — G. E. ARRINGTON, *A History of Ophtalmology* (P. HUARD). — R. ONFRAY, *L'ophtalmologie française au XXe siècle* (P. HUARD). — R. HOEPPLI, *Parasites and parasitic Infections in early Medicine and Science* (L. GLESINGER). — M. CHRISTOPHE, *Histoire de la gale* (P. HUARD). — H. E. SIGERIST, *On the Sociology of Medicine* (M. D. GRMEK). — A. LE BOZEC, *Histoire de l'Ecole de Chirurgie de Rochefort, de ses origines jusqu'au début du XIXe siècle (1722-1836)* (P. HUARD). — *Le Val-de-Grâce et l'Ecole d'Application du Service de Santé militaire* (P. HUARD). — *Le Service de Santé des Armées en Algérie (1830-1958)* (P. HUARD). — E. PROVOST, *Bio-bibliographie de Léon Le Fort (1829-1893)* (P. HUARD). — *Ambix. The Journal of the Society for the Study of Alchemy and Early Chemistry*, 1957, 1958, 1959 (vol. VI, vol. VII) (S. COLNORT). — *Monspeliensis Hippocrates (1958-1960)* (J. THÉODORIDÈS).

La Revue publiera dans ses prochains fascicules des articles de :

MM. C. DAVYDOFF, L. DULIEU, R. LAMONTAGNE, R. MORTIER
D. NEDELKOVITCH, A. ROBINET, L. SCHELER, D. TABOR, R. TATON
Mlle F. WEIL

Démonstration du V^e Postulat d'Euclide par Schams-ed-Din Samarkandi

Traduction de l'ouvrage Aschkâl-üt-teessis *de Samarkandi*[1]

Parmi les mathématiciens musulmans, Aboul Abbas el Fazl (bin Hâtim) el Nayrizi (2) [ou, selon le P^r Youschevitch, Abbas-ibn-i Saide el Gavhari, vers 830] fut le premier à discuter le V^e postulat d'Euclide. Voici, cités par ordre chronologique, ceux qui, après lui, jusqu'au XIII^e siècle, critiquèrent d'une manière approfondie les postulats de la géométrie d'Euclide : Thâbit bin Kourré, Omar Alkhayyam, Nassireddin Toussi et Schams-ed-Din Samarkandi.

Schams-ed-Din Samarkandi (Mohammed ibn-i-Aschraf el Housseyni), astronome et mathématicien, contemporain de Toussi, s'illustra en 1276, à Samarkande, par son ouvrage célèbre *Aschkâl-üt-teessis*, qui fut critiqué et commenté à plusieurs reprises jusqu'au XV^e siècle. *Aschkâl-ut-teessis* signifie *Théorèmes fondamentaux de la géométrie* (3). Cet ouvrage, rédigé probablement en 1276, contient les commentaires et discussions des 35 postulats du livre d'Euclide. Il existe à Istanbul (Bibliothèque Sainte-Sophie, n° 2712/1) une copie d'*Aschkâl-üt-teessis*, et à la Bibliothèque centrale de l'Université technique d'Istanbul une traduction turque (n° 4316/5075) de

(1) Cette traduction, du V^e Postulat d'Euclide par Samarkandi, est dédiée au P^r B. A. Rosenfeld, de l'Académie des Sciences de Moscou.

(2) Mathématicien persan, mort en 922.

(3) Il faut remarquer ici que les théorèmes de la géométrie étaient nommés *Schakl* (terme qui peut signifier aussi figure) par les mathématiciens musulmans ; comme par exemple : *Schakl-al-Khoutta* (qui veut dire théorème des transversales) ou *Schakl-al-Mougni* (qui veut dire théorème des sinus en trigonométrie sphérique), etc. On commet parfois l'erreur de traduire ce mot par figure. En outre, on l'a confondu parfois avec le mot *muschkile* qui signifie difficulté. C'est en prenant ce dernier mot comme le pluriel de *Schakl* (le pluriel de *Schakl* est, en réalité, *Aschkhal*) qu'un historien des sciences a traduit, par erreur, l'*Aschkâl-üt-teessis* par : difficultés des fondements.

cet ouvrage. La traduction turque porte la date de 1795 (1209 de l'hégire ; règne de Selim III). Le traducteur est un mathématicien ayant vécu à cette époque : Muftu Zadé Abdourrahim. Le commentaire le plus connu, en Orient, d'*Asch-le* (1), est celui de l'astronome turc Khadi Zadé Roumi (Salahud-Din-Moussa Pascha), second directeur de l'Observatoire d'Ouloug Bey à Samarkande. Le commentaire de Khadi Zadé *(Scharh-i-Asch-le)* porte la date de 1413 (815 de l'hégire).

Jusqu'à présent, les théorèmes fondamentaux de Samarkandi n'ont été traduits dans aucune langue occidentale.

Il s'agit ici uniquement de la traduction du V^e postulat d'Euclide. Le traducteur a cherché à rendre le plus fidèlement possible le texte original ; il a recouru parfois à sa traduction turque et a confronté les textes. Mais pour que les raisonnements utilisés dans les démonstrations apparaissent avec le maximum de clarté, il a utilisé les notations de la géométrie moderne.

Aschkâl-üt-teessis
(Théorèmes fondamentaux de la géométrie)
par Schams-ed-Din Samarkandi (2)

La démonstration de Samarkandi, concernant le V^e postulat, se base sur les deux lemmes suivants *(Lemmes de Samarkandi)*.

Lemme I. — On peut tracer une infinité de segments (ou cordes), l'un au-dessous de l'autre, coupant la bissectrice BL d'un angle donné $\widehat{ABC}$, tel qu'avec chacun de ces segments on peut former des triangles isocèles ayant la même bissectrice BL, et dont les sommets seront situés sur BL (par exemple, les segments $\overline{TK}$, $\overline{ER}$, ..., de la figure 1).

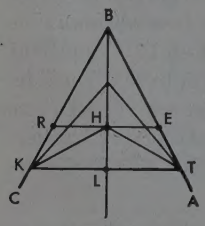


FIG. 1

Pour démontrer ce lemme, fixons sur le côté AB, de l'angle donné $\widehat{ABC}$, un point quelconque E et prenons $\overline{BR} = \overline{BE}$. La droite $\overline{ER}$, formée par les points E et R, engendre, avec $\overline{BE}$ et $\overline{BR}$, les triangles (EBH) et (BRH). Dans ces deux triangles, $\overline{BE} = \overline{BR}$, $\overline{BH}$ est commun et les angles au sommet B étant égaux (car $\overline{BH}$ est la bis-

(1) Au lieu de *Aschkâl-üt-teessis*, nous écrirons, par abréviation, *Asch-le*.
(2) Traduction du V^e postulat par Hâmid DILGAN.

sectrice de l'angle donné $\widehat{ABC}$), ces triangles seront égaux. Donc, $\widehat{BHE} = \widehat{BHR} = 1$ dr. On voit bien que $\overline{BH}$ est perpendiculaire à $\overline{ER}$.

Ce résultat peut être aussi obtenu par le théorème d'Al Mémoun *(Schakl-el-Meemouni)* (1). De même, si l'on prend sur le côté $\overline{AB}$ de l'angle $\widehat{ABC}$, un autre point quelconque T et si l'on trace $\overline{BT} = \overline{BK}$, on obtient le segment $\overline{TK}$. Cette droite ne peut pas passer par le point H. Car si la droite $\overline{TK}$ passait par le point H, on aurait d'après le cas précédent :

$$\widehat{BHT} + \widehat{BHK} = 2 \text{ dr.}$$

Or, $\overline{BH}$ étant perpendiculaire à $\overline{ER}$, on aura :

$$\widehat{BHE} + \widehat{BHR} = 2 \text{ dr.}$$

Donc, l'égalité : $\widehat{BHT} + \widehat{BHK} = \widehat{BHE} + \widehat{BHR}$

qui est absurde. *(Totum parte majus.)* On voit bien que si la droite $\overline{TK}$ coupe $\overline{ER}$, on obtient un résultat qui est en contradiction avec le VIe postulat d'Euclide (deux droites d'un plan ne peuvent pas limiter une aire). Donc : la droite $\overline{TK}$ ne peut pas couper $\overline{ER}$ en passant par le point H, elle passe par un autre point L au-dessous de H (selon la figure tracée).

On a ainsi démontré que la droite $\overline{TK}$ est un segment passant au-dessous de $\overline{ER}$ et appartient (comme $\overline{ER}$) à l'angle $\widehat{ABC}$. On peut ainsi tracer une infinité de segments (ou cordes) dans les conditions mentionnées ci-dessus. Ce qui vérifie notre lemme.

Lemme II. — Dans tout triangle, la somme de deux angles quelconques est plus petite que deux droits.

Prenons le triangle (ABC) et prolongeons le côté $\overline{BC}$ à partir du sommet C. On va démontrer l'inégalité $\widehat{ACB} + \widehat{ABC} < 2$ dr.

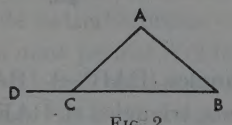


FIG. 2

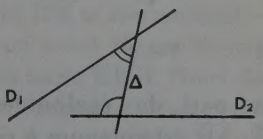


FIG. 3

En effet, la somme des angles $\widehat{ACD}$ et $\widehat{ACB}$ étant égale à deux droits et l'angle $\widehat{ACD}$ étant plus grand que l'angle $\widehat{ABC}$ (*Asch-le* : théorème 12) si dans l'égalité $\widehat{ACD} + \widehat{ACB} = 2$ dr., on écrit à la

(1) Théorème d'Al Mémoun (du nom du Calife Al Mémoun) : dans tout triangle isocèle, les angles à la base sont égaux. [Note du traducteur].

place de $\widehat{ACD}$ l'angle $\widehat{ABC}$ (qui est plus petit que $\widehat{ACD}$), on obtient l'inégalité à démontrer : $\widehat{ABC} + \widehat{ACB} < 2$ dr.

Passons maintenant à la démonstration du célèbre postulat V qui s'énonce ainsi :

Lorsqu'une droite Δ d'un plan P coupe les droites (D_1) et (D_2) (du même plan P), et si la somme des angles intérieurs (formés respectivement par les couples de droites Δ D_1 et Δ D_2) est plus petite que deux droits, les droites D_1 et D_2 — suffisamment prolongées — se rencontrent du côté de ces angles (fig. 3).

La démonstration de ce postulat sera divisée en trois cas distincts, selon que lesdits angles intérieurs sont : 1° L'un aigu et l'autre droit ; 2° Les deux aigus ; 3° L'un aigu et l'autre obtus.

Cas I. — Supposons que l'angle $\widehat{ABD} = (\Delta, D_1)$ soit droit et $\widehat{BAC} = (\Delta, D_2)$ aigu (fig. 4). On peut construire (d'après le théorème 16 d'*Asch-le*) (1) un angle $\widehat{BAE}$ égal à $\widehat{BAC}$, tel qu'un des côtés soit $\overline{BA}$. Il est évident que la droite $\overline{AR}$, obtenue par prolongement de la droite $\overline{AB}$, jusqu'à un point quelconque R, divisera l'angle $\widehat{EAC}$ en deux parties égales. Donc, d'après le lemme I, il sera possible de tracer le segment (corde) $\overline{ET}$ (passant au-dessous de B), relatif à l'angle $\widehat{EAC}$.

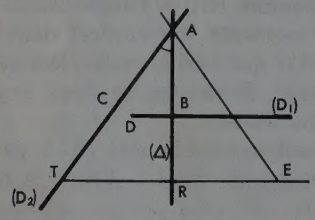


FIG. 4

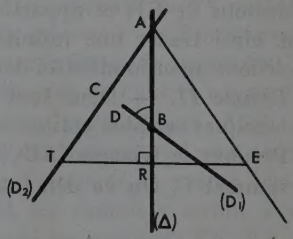


FIG. 5

D'autre part, de l'égalité des triangles (EAR) et (RAT) (car : $\overline{EA} = \overline{AT}$, $\overline{AR}$ est commun à ces deux triangles et $\widehat{RAE} = \widehat{RAT}$, *Asch-le*, théorème 4), on obtient l'égalité $\widehat{ARE} = \widehat{ART}$, qui exprime la perpendicularité de $\overline{AR}$ à $\overline{ET}$ au point R. Donc la droite $\overline{RT}$ ne peut pas couper $\overline{BD}$. Dans le cas contraire : $\widehat{ART}$ et

(1) Théorème 16 d'*Asch-le* : d'un point pris sur une droite (D), illimitée d'un ou des deux côtés, on peut construire un angle quelconque dont l'un des côtés soit situé sur (D). [Note du traducteur].

$\widehat{DBR}$ étant des angles droits, il y aurait dans un triangle deux angles droits, ce qui est impossible, d'après le lemme II. $\overline{RT}$ ne pouvant pas rencontrer $\overline{BD}$, le prolongement de $\overline{BD}$ coupera sûrement la droite $\overline{AT}$. Ce qui démontre le théorème.

Cas II. — Supposons maintenant que les angles en question, $\widehat{BAC}$ et $\widehat{DBA}$ soient tous deux aigus (fig. 5). Il est évident que l'angle $\widehat{DBR}$ sera obtus dans ce cas. D'autre part, la droite $\overline{AR}$ étant perpendiculaire à $\overline{RT}$ (c'est-à-dire que $\widehat{ART} = 1$ dr.), la droite $\overline{RT}$ ne peut pas couper $\overline{BD}$. Dans le cas contraire, on aurait un triangle rectangle avec un angle obtus, ce qui est impossible d'après le lemme II. Donc la droite $\overline{RT}$ ne coupe pas $\overline{BD}$. Par conséquent, le prolongement de $\overline{BD}$ coupera la droite $\overline{AT}$, c'est-à-dire (D_2). Ce qui démontre notre cas.

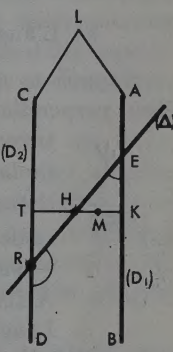


Fig. 6

Cas III. — Supposons maintenant que la droite (Δ), qui coupe les droites (D_1) et (D_2), forme avec celles-ci l'angle E (aigu) et l'angle R (obtus) (1) (fig. 6). Fixons d'abord le milieu H du segment $\overline{ER}$ (d'après le théorème 10 d'*Asch-te*, on peut toujours diviser un segment de droite en deux parties égales) et du point H ainsi déterminé, abaissons la perpendiculaire $\overline{HT}$ sur la droite $\overline{CD}$. En outre, prolongeons la droite $\overline{TH}$ jusqu'à un point quelconque M. Comme la droite $\overline{HT}$ est perpendiculaire à $\overline{CD}$ ($\widehat{HTR} = 1$ dr.), l'angle $\widehat{THR}$ sera (d'après le lemme II) un angle aigu et son opposé égal $\widehat{EHM}$ sera aussi aigu (*Asch-te*, théorème 11). D'autre part, l'angle $\widehat{BEH}$ (c'est-à-dire l'angle E) étant supposé aigu, les droites $\overline{AE}$ et $\overline{HM}$ se rencontrent — d'après le cas II de notre théorème — en un point K, par exemple. Cette conclusion nous permet d'obtenir un angle $\widehat{EKH}$. Nous allons montrer que cet angle est obtus. On va distinguer deux cas différents, car si l'angle $\widehat{EKH}$ n'est pas obtus, il sera ou droit ou aigu.

a) L'angle $\widehat{EKH}$ ne peut pas être droit.

Car si l'angle $\widehat{EKH}$ était égal à 1 dr., il serait égal à l'angle T (supposé égal à 1 dr.) du triangle rectangle (HTR). D'autre part, $\overline{HE}$ étant égal à $\overline{HR}$ et $\widehat{EHK} = \widehat{THR}$, les triangles rectan-

(1) Ici aussi on a par hypothèse, E + R < 2 dr. [Note du traducteur].

gles (HEK) et (THR) seraient égaux entre eux, d'où, par conséquent, l'angle $\widehat{HEK}$ du triangle (HEK) serait égal à l'angle $\widehat{THR}$ du triangle (TRH). Si on ajoute aux deux membres de l'égalité $\widehat{HEK} = \widehat{THR}$, l'angle obtus $\widehat{DRE}$, on obtient l'égalité :

$$\widehat{DRE} + \widehat{HEK} = \widehat{DRE} + \widehat{TRH}$$

qui est absurde. Car le premier membre de cette égalité est selon l'hypothèse, plus petit que 2 dr., tandis que le second membre est égal (*Asch-le*, théorème 1) à deux droits. Donc l'angle $\widehat{EKH}$ ne peut pas être égal à 1 dr.

b) L'angle $\widehat{EKH}$ ne peut pas être aigu.

Supposons que l'angle $\widehat{EKH}$ soit aigu. Les droites $\overline{HT}$ et $\overline{TC}$ étant perpendiculaires entre elles, $\overline{AB}$ et $\overline{CD}$ se rencontrent (cas I du théorème) du côté du point C en un point quelconque L. Or la somme des angles $\widehat{BER}$ et $\widehat{DRE}$ étant, par hypothèse, plus petite que 2 dr. et la somme $\widehat{AER} + \widehat{REK}$ égale à 2 dr., l'angle extérieur $\widehat{DRE}$ au triangle (ERL) — supposé (formé ci-dessus) — sera plus petit que l'angle $\widehat{AER}$ du même triangle (1). Ce résultat est absurde ; car l'angle extérieur d'un triangle ne peut pas être plus petit qu'un angle du triangle non adjacent à cet angle extérieur. On voit bien que l'angle $\widehat{EKH}$ ne peut pas être aigu, ce qui démontre le cas *b)* (fig. 7).

FIG. 7

On tire de ces raisonnements que l'angle $\widehat{EKH}$ est nécessairement un angle obtus et donc son complément $\widehat{BKT}$ un angle aigu. D'autre part, comme $\overline{HT}$ est perpendiculaire à $\overline{CD}$ ($\widehat{DTK} = 1$ dr.) au point T, les droites $\overline{AB}$ et $\overline{CD}$ se rencontrent nécessairement (d'après le cas I de notre théorème) du côté de B. C'est-à-dire du côté où la somme $\widehat{DRE} + \widehat{REB}$ des angles intérieurs est plus petite que deux droits.

C.Q.F.D.

Hâmid DILGAN.

(1) $\widehat{BER} + \widehat{DRE} < 2$ dr. (hypothèse), $\widehat{AER} + \widehat{REK} = 2$ dr. $\widehat{REK} = \widehat{BER}$ ∴ $\widehat{BER} = 2$ dr. — $\widehat{AER}$. En posant cette valeur de $\widehat{BER}$ dans l'inégalité précédente, on trouve : 2 dr. — $\widehat{AER} + \widehat{DRE} < 2$ dr., qui nous donne l'inégalité : $\widehat{DRE} < \widehat{AER}$. [Note du traducteur]. Cote : 2 (3).

Le *De Motu Gravium* de Galilée

De l'expérience imaginaire et de son abus

La loi de la chute des corps, qui a sonné le glas de la physique aristotélicienne, comporte deux assertions qui, bien qu'étroitement liées dans l'esprit de Galilée, ne sont pas moins indépendantes l'une de l'autre et doivent, de ce fait, être soigneusement distinguées.

La première concerne la structure mathématique et dynamique du mouvement de la chute. Elle affirme que ce mouvement obéit à la loi du nombre et que les espaces traversés dans des intervalles successifs (et égaux) du temps sont *ut numeri impares ab unitate* (1) ; en d'autres termes, qu'une force constante, à l'encontre de ce qu'avait enseigné Aristote, détermine non pas un mouvement uniforme, mais un mouvement uniformément accéléré (2), c'est-à-dire que l'action de la force motrice produit non pas une vitesse, mais une accélération.

La deuxième ajoute que dans leur mouvement de chute, également à l'encontre d'Aristote, tous les corps, grands et petits, lourds et légers, c'est-à-dire quelles que soient leurs dimensions et leurs natures, tombent, en principe, sinon en fait (3), avec la même vitesse ; en d'autres termes, que l'accélération de la chute est une constante universelle (4).

(1) Dans le mouvement de la chute, les vitesses croissent proportionnellement au temps, c'est-à-dire, comme les nombres ; les espaces parcourus, dans les intervalles successifs, comme les nombres impairs ; et les espaces parcourus depuis le commencement de la chute, comme les carrés.

(2) En dernière analyse, la loi de la chute des corps implique celle d'inertie, c'est-à-dire, de la conservation du mouvement. Pour Aristote, on le sait bien, une telle conservation est impossible : le mouvement implique l'action d'une force motrice, d'un moteur attaché au mobile : séparé du premier, le second s'arrête.

(3) Vu la résistance de l'air, l'égalité de la vitesse de la chute des corps graves et légers ne pourrait avoir lieu que dans le vide.

(4) Pour nous — comme déjà pour Képler — qui réduisons la gravité à l'attraction terrestre, cette « constante » varie avec l'éloignement du grave du centre de la Terre. Pour Galilée, qui n'admet pas d'attraction, la constante d'accélération a une valeur universelle. Cette constance est, d'ailleurs, impliquée dans la déduction même de la loi de la chute par Galilée.

L'étude historique de la première de ces deux assertions a été faite maintes fois (1) ; celle de la seconde a été, en revanche, un peu négligée par les historiens (2). Elle est, cependant, assez intéressante, ne serait-ce que parce que, d'une part, elle nous offre un exemple éclatant de l'usage — et de l'abus — par Galilée de la méthode de l'expérience imaginaire ; et que, d'autre part, elle nous permet de préciser un peu les rapports de la pensée galiléenne avec celle de ses prédécesseurs immédiats ; et plus lointains.

Les expériences imaginaires, que Mach avait appelées « expériences de pensée » *(Gedankenexperimente)*, et sur lesquelles M. Popper vient de rappeler notre attention, ont joué un rôle très important dans l'histoire de la pensée scientifique (3). Ce qui se comprend facilement : les expériences réelles sont, souvent, très difficiles à faire : elles impliquent, non moins souvent, un appareillage complexe et coûteux. En outre, elles comportent, nécessairement, un certain degré d'imprécision ; et donc, d'incertitude. Il est impossible, en effet, de produire une surface plane qui soit « véritablement » plane ; ou de réaliser une surface sphérique qui le soit « réellement ». Il n'y a pas, et il ne peut pas y avoir, *in rerum natura*, de corps parfaitement rigides ; pas plus que de corps parfaitement élastiques ; on ne peut pas exécuter une mesure parfaitement exacte. La perfection n'est pas de ce monde ; on peut s'en approcher, sans doute, mais on ne peut pas l'atteindre. Entre la donnée empirique et l'objet théorique, il reste, et il restera toujours, une distance impossible à franchir.

C'est là que l'imagination entre en scène. Allègrement, elle supprime l'écart. Elle ne s'embarrasse pas des limitations que nous impose le réel. Elle « réalise » l'idéal, et même l'impossible. Elle opère avec des objets théoriquement parfaits, et ce sont ces objets-là que l'expérience imaginaire met en jeu (4). Ainsi, elle fait rouler des sphères parfaites sur des plans parfaitement lisses,

(1) En dernier lieu par moi-même : cf. *Études galiléennes*, II ; *La loi de la chute des corps*, Paris, 1939.

(2) Ils se bornent, le plus souvent, à invoquer « l'expérience de Pise » — que Galilée n'a jamais faite, et dont il ne parle jamais ; cf. mon : « Galilée et l'expérience de Pise », *Annales de l'Université de Paris*, 1957 et Lane Cooper, *Aristotle and the Tower of Pisa*, Ithaca, N. Y., 1955.

(3) Cf. K. Popper, *The Logic of Scientific Discovery*, App. XI, pp. 442 sq, New York, 1959.

(4) Elle joue, ainsi, le rôle d'intermédiaire entre le mathématique et le réel.

et parfaitement durs ; suspend des poids à des leviers parfaitement rigides et qui, eux, ne pèsent rien ; fait émaner la lumière de sources punctiformes ; envoie des corps se mouvoir éternellement dans l'espace infini ; balise de montres synchrones des systèmes de références galiléens en mouvement inertial et lance des photons, un à un, sur un écran percé d'une fente, ou de deux. Ce faisant, elle obtient des résultats d'une précision parfaite — ce qui, d'ailleurs, ne les empêche pas, parfois, d'être faux, du moins par rapport à la *rerum natura* — et c'est pour cela, sans doute, que ce sont si souvent des expériences imaginaires qui sous-tendent les lois fondamentales des grands systèmes de philosophie naturelle, tels ceux de Descartes, de Newton, d'Einstein... et aussi de Galilée.

Revenons donc à Galilée et, notamment, au premier livre des *Discours et démonstrations mathématiques* qui, comme le *Dialogue sur les deux plus grands systèmes du monde*, est une conversation amicale entre trois personnages symboliques : Salviati, le représentant de la science nouvelle, porte-parole de Galilée ; Sagredo, la *bona mens*, esprit ouvert et libre de préjugés scolaires et qui, de ce fait, est capable de comprendre et de recevoir l'enseignement de Salviati ; et Simplicio, tenant de la tradition universitaire dominée par l'autorité d'Aristote, dont il défend, sans trop d'ardeur du reste, les positions (1).

Après avoir discuté de choses et d'autres (2), on en vient à parler de la chute des graves. Pour démontrer la fausseté de l'assertion aristotélicienne, selon laquelle les vitesses des corps en chute libre sont proportionnelles à leurs poids et inversement proportionnelles à la résistance des milieux dans lesquels ils se meuvent — d'où l'impossibilité du mouvement dans le vide — Galilée, tout d'abord, la fait exposer par le porte-parole de l'aristotélisme, Simplicio, et puis lui oppose, par la bouche de Sagredo,

(1) Les deux premiers ne sont pas seulement des personnages symboliques ; ce sont aussi des personnes réelles : Sagredo (1571-1620) est un Vénitien, Salviati (1582-1614) un Florentin, amis de Galilée dont celui-ci a voulu perpétuer la mémoire. Simplicio, lui, est purement symbolique. Il est peu probable que Galilée ait choisi son nom en pensant au grand commentateur d'Aristote, Simplicius ; il est plus vraisemblable qu'il ait voulu indiquer que l'esprit d'un aristotélicien est, par définition, simpliste ; ou que, jouant sur l'interférence des noms, il ait voulu suggérer que les descendants spirituels de *Simplicius* étaient *simplistes*.

(2) De la cohésion et de la résistance des matériaux à la rupture (titre de la *giornata prima*), du *vacuum*, de quelques paradoxes de l'infini (la roue d'Aristote), de l'expérience cherchant à démontrer que la propagation de la lumière se fait dans le temps, et non dans l'instant, etc.

les données d'une expérience réelle et, par celle de Salviati, les résultats d'une expérience imaginée (1).

Simplicio. — Aristote, autant qu'il me souvienne, s'insurge contre certains anciens qui introduisirent le vide comme nécessaire au mouvement, en disant que sans celui-ci [le vide] cet autre [le mouvement] ne pourrait avoir lieu. A l'encontre de cela, Aristote démontre que, tout au contraire, c'est [ainsi que nous le verrons] la production du mouvement qui s'oppose à la position du vide ; aussi raisonne-t-il comme suit. Il suppose deux cas : l'un, celui de mobiles différents en gravité mus dans le même milieu ; l'autre, celui du même mobile mu dans des milieux divers. Quant au premier (cas), il suppose que les mobiles de gravité différente se meuvent dans le même milieu avec des vitesses différentes, et qui auront entre elles la même proportion que les gravités ; ainsi, par exemple, qu'un mobile dix fois plus lourd qu'un autre se mouvra dix fois plus vite (2). Dans l'autre cas, il admet que les vitesses du même mobile dans des milieux différents auront, entre elles, la proportion inverse de l'épaisseur, ou de la densité, de ces milieux ; ainsi, par exemple, si l'on suppose que l'épaisseur [densité] de l'eau soit dix fois celle de l'air, il veut que la vitesse dans l'air soit dix fois plus grande que la vitesse dans l'eau (3). Et de cette seconde supposition, il tire une démonstration de la forme suivante : puisque la ténuité du vide surpasse, d'une distance infinie, la corpulence, si subtile qu'elle soit, de tout milieu plein, tout mobile qui, dans le milieu plein, se meut par quelque espace en quelque temps, devra dans le vide se mouvoir en un instant (4) ; mais accomplir un mouvement en un instant est impossible ; par conséquent en vertu de [l'existence] du mouvement, il est impossible qu'il y ait du vide.

Salviati. — L'argument, on le voit, est *ad hominem*, c'est-à-dire, dirigé contre ceux qui voulaient [poser] le vide comme nécessaire pour le mouvement ; aussi, si j'acceptais cet argument comme concluant, en concédant par là-même que dans le vide il n'y aurait pas de mouvement, la position du vide, prise absolument et non en rapport avec le mouvement, n'en serait pas détruite (5). Mais pour dire quelque chose que les anciens auraient peut-être pu répondre, et aussi pour voir mieux si la démonstration d'Aristote est concluante, il me semble que l'on

(1) Cf. Discorsi e Dimonstrazioni Matematiche Intorno a Due Nuove Scienze (*Opere di Galileo Galilei*, Edizione Nazionale, vol. VIII, Firenze, 1898), pp. 105 sq. Les *Discorsi* n'ayant jamais été traduits en français, je les citerai *in extenso* par la suite.

(2) Ainsi, en supposant constante la résistance du milieu, a-t-on : $V_1 = P_1 : R$ et $V_2 = P_2 : R$.

(3) $V_1 = P : R_1$; $V_2 = P : R_2$. Joignant ces deux formules ensemble, on obtient : $V = P : R$. Il est toujours supposé $P > R$.

(4) $V = P : 0 = \infty$. La vitesse, dans le vide, serait infinie.

(5) On sait bien que Galilée admet, non seulement l'existence de petits vides infinitésimaux — qui expliquent la cohésion des corps — mais aussi des vides de dimensions finies, *e.g.* ceux qui se produisent dans la pompe à succion.

pourrait s'opposer à ses assomptions, et les nier toutes les deux. Or, quant à la première, je doute grandement qu'Aristote ait jamais contrôlé par expérience s'il était vrai que deux pierres, l'une dix fois plus lourde que l'autre, qu'on laisse au même instant tomber d'une certaine hauteur, par exemple, de 100 brasses, soient tellement différentes quant à leurs vitesses, que lors de l'arrivée à terre de la plus grande, l'autre se trouverait n'être descendue que de 10 brasses.

Simplicio. — On voit pourtant par son langage qu'il doit l'avoir fait ; il dit en effet : *Nous voyons le plus lourd.* Or ce : *nous voyons* indique qu'il avait fait l'expérience.

Sagredo. — Mais moi, Sign. Simplicio, qui en ai fait l'épreuve, je vous assure qu'un boulet de canon qui pèse 100 ou 200 livres, ou plus encore, n'anticipera pas même d'une paume l'arrivée à terre d'une balle de mousquet qui ne pèse qu'une demi-livre, tombant, elle aussi, de la hauteur de 200 brasses (1).

Salviati. — Or, même sans expérience, nous pouvons, par une démonstration brève et concluante, prouver clairement qu'il n'est pas vrai qu'un mobile plus lourd se meut plus vite qu'un autre, moins lourd, étant entendu que ces mobiles sont de la même matière et, en somme, du genre de ceux dont parle Aristote. Mais dites-moi, Sign. Simplicio, si vous admettez que tout corps (grave) qui tombe possède une certaine vitesse, déterminée par la nature, et que l'on ne peut ni l'accroître ni la diminuer, si ce n'est en usant de la violence ou en lui opposant quelque résistance ?

Simplicio. — On ne peut pas mettre en doute que le même mobile, se mouvant dans le même milieu, possède une vitesse fixée et déterminée par la nature, laquelle [vitesse] ne peut pas être augmentée si ce n'est par un nouvel *impetus* à lui [mobile] conféré, ou diminuée, sauf par une résistance qui le retarde.

Salviati. — Lors donc que nous avons deux mobiles, dont les vitesses naturelles seraient inégales, il est clair que, si nous joignons le plus lent au plus rapide, celui [le mouvement] du plus rapide sera partiellement retardé [par le plus lent], et celui du plus lent, partiellement accéléré par le plus rapide. N'êtes-vous pas d'accord avec moi sur cette opinion ?

Simplicio. — Il me semble que c'est ce qui doit suivre indubitablement.

Salviati. — Mais s'il en est ainsi, et qu'il soit vrai en même temps qu'une grande pierre se meut avec, par exemple, huit degrés de vitesse, et une plus petite, avec quatre ; alors, si on les joint ensemble toutes les deux, le composé se mouvra avec une vitesse moindre que huit degrés : mais les deux pierres, jointes ensemble, font une pierre plus grande que la première, qui se mouvait avec huit degrés de vitesse : ainsi donc le composé (qui est plus grand que la première pierre seule) se meut plus lentement que cette première seule, qui est plus petite. Ce qui est contraire

(1) Il est, avouons-le, fort douteux que Sagredo ait jamais fait ces expériences ; les premiers qui les aient instituées d'une manière systématique semblent avoir été G. B. Riccioli et Mersenne ; cf. mon « An Experiment in Measurement », in *American Philosophical Society, Proceedings*, Philadelphia, 1953.

à votre supposition. Vous voyez donc comment, de votre supposition que le mobile plus lourd se meut plus rapidement que le moins lourd, je conclus que le [corps] plus lourd se meut moins rapidement (1).

Simplicio est totalement abasourdi : n'est-il pas évident qu'en ajoutant une pierre plus petite à une plus grande on augmente son poids, et donc, selon Aristote, sa vitesse ? Mais Salviati lui assène un coup de plus en proclamant qu'il n'est pas vrai que la petite pierre, ajoutée à la grande, augmente son poids. En effet (2), il est nécessaire de distinguer entre les graves en mouvement et les mêmes graves en repos.

Une grande pierre placée sur une balance acquiert un plus grand poids non seulement lorsqu'on lui superpose une autre pierre, mais toute addition, ne serait-ce qu'une pincée d'étoupe, augmentera son poids de quelque 6 ou 10 onces, selon ce que pèse l'étoupe ; mais si, d'une altitude quelconque, vous laissez tomber librement la pierre avec l'étoupe attachée, croyez-vous que dans ce mouvement l'étoupe pèsera sur la pierre et l'obligera ainsi d'accélérer son mouvement ou, peut-être, croyez-vous qu'elle la retardera en la soutenant partiellement ? Nous sentons le poids sur nos épaules lorsque nous voulons nous opposer au mouvement que ferait un certain poids placé sur celles-ci ; mais si nous descendions avec la même vitesse avec laquelle ce poids grave descendrait naturellement, comment voulez-vous qu'il presse ou pèse sur [nous] ? Ne voyez-vous pas que ce serait vouloir frapper avec une lance un homme qui court devant vous avec la même vitesse (3) avec laquelle vous le poursuivez, ou [avec une vitesse] plus grande encore ? Concluez donc que, lors de la chute libre et naturelle, la pierre plus petite ne pèse pas sur la grande et, en conséquence, n'en accroît pas le poids comme elle le fait au repos.

Simplicio, pourtant, ne se rend pas :

Admettons que la petite pierre ne pèse pas sur la grande. Mais n'en serait-il pas autrement si on plaçait la grande sur la petite ?

Certes, répond Salviati (4), elle augmenterait le poids [de la petite], si son mouvement était plus rapide ; mais nous avons déjà conclu que, si la petite était plus lente, elle retarderait dans une certaine mesure la vitesse de la plus grande, de telle façon que leur ensemble se mouvrait

(1) Il est intéressant de noter que cet argument fut présenté par Galilée déjà dans son *De Motu* juvénile (cf. *Opere*, V, I, p. 265), écrit, probablement vers 1590, sans que Galilée en ait tiré la conséquence de l'égalité de la vitesse dans la chute des graves.

(2) Cf. *Opere*, vol. VIII, p. 108 sq.

(3) Il est amusant de noter que cet exemple « frappant » sera utilisé par Stefano degli Angeli dans sa polémique avec Riccioli ; cf. mon « De Motu Gravium... », *American Philosophical Society, Transactions*, 1955.

(4) *Opere*, vol. VIII, p. 109.

moins vite, tout en étant plus grand que celle-ci ; ce qui est contraire à votre hypothèse. Concluons donc que les mobiles, grands et petits, se meuvent avec la même vitesse lorsqu'ils sont de même gravité spécifique.

La mention par Galilée de la gravité spécifique — et ce, dans un raisonnement où elle n'a que faire — est extrêmement curieuse. Et même, historiquement, très importante : elle nous révèle la source qui inspire le raisonnement galiléen, aussi bien dans le passage que je viens de citer que dans celui que je vais citer plus bas. Cette source, c'est Jean-Baptiste Benedetti (1). En effet, dès 1553, dans la préface-dédicace à Gabriel de Guzman de sa *Résolution de tous les problèmes d'Euclide* (2)... dans laquelle, pour l'analyse de la descente des graves, il substitue un schéma archimédien à celui d'Aristote — Galilée, ainsi que nous le verrons tout à l'heure, fait de même —, Benedetti écrit :

Je dis donc que s'il y avait deux corps de la même forme (3) et de la même espèce (gravité spécifique), [ces corps] qu'ils soient égaux ou inégaux se mouvraient, dans le même milieu, par un espace égal dans un temps égal. Cette proposition est très évidente, car, s'ils se mouvaient dans un temps inégal, ils devraient être d'espèces différentes, ou se mouvoir à travers des milieux différents (4).

Benedetti, aussi bien que Galilée, considère que la chute simultanée de graves grands et petits (de nature, ou d'espèce, c'est-à-dire de gravité spécifique, identique) est contraire à l'enseignement d'Aristote. En quoi ils ont indubitablement raison : Aristote, effectivement, a enseigné que les grosses pierres tombent plus rapidement que les petites (5). On pourrait se demander, toutefois,

(1) L'influence de J. B. Benedetti sur Galilée a été mise en valeur déjà par G. Vaillati (cf. Le Speculazioni di Giovanni Benedetti sul Moto dei Gravi, *Scritti*, p. 161 sq. ; et, aujourd'hui, R. Giacomelli, *Galileo Galilei giovane e il suo « De Motu »*, Pisa, 1949.

(2) *Restitutio omnium Euclidis problematum aliorumque una tantum modo circuli apertura*, Venetiis, 1533. Sur J. B. Benedetti, cf. mon étude « Jean Baptiste Benedetti, critique d'Aristote », *Mélanges offerts à Étienne Gilson*, Paris, 1959, et, déjà, mes *Études galiléennes*, I et II, où l'on trouvera la bibliographie de cet auteur ; cf. aussi les travaux de Vaillati et de R. Giacomelli, cités n. 1.

(3) S'ils ne l'étaient pas, leur forme influencerait leur mouvement.

(4) La préface de Benedetti fut publiée par lui, à part, également à Venise, en 1554, sous le titre : *Demonstratio proportionum motuum localium contra Aristotelem* ; très rare, elle a été republiée par G. Libri, dans le vol. III de son *Histoire des Sciences mathématiques en Italie* (Paris, 1848, pp. 248 sq.) ; le passage que je cite se trouve aux pp. 249-50 ; je l'ai reproduit, en traduction, dans mon article cité n. 2.

(5) En quoi, d'ailleurs, il avait raison.

si Simplicio n'a pas eu tort de se rendre si facilement au raisonnement de Salviati et de se laisser confondre par son « expérience » paradoxale d'un corps, alourdi par l'adjonction d'un autre, se mouvant plus lentement, ou aussi vite, que le premier. Ne pourrait-il pas, ne devrait-il pas répondre que, dans son analyse de la chute, Salviati a négligé un facteur d'une importance capitale, essentielle, à savoir, la résistance au mouvement : tout mouvement, en effet, implique action et résistance ; et qu'il a, en outre, admis, comme allant de soi, que le poids d'un *ensemble de corps* joue, par rapport à cet ensemble, le même rôle que celui d'un corps individuel par rapport à ce dernier. Ne pourrait-il pas dire, par exemple, que « l'expérience » de Benedetti, présentée par celui-ci dans son livre des *Diverses spéculations mathématiques et physiques* (1), expérience dans laquelle on laisse tomber deux corps égaux (et de matière identique), séparément d'abord, puis en les reliant par une ligne mathématique, en concluant qu'il n'y a aucune raison pour que, dans le second cas, ils aillent plus vite que dans le premier (ensemble plus vite que séparément) est excellente, mais ne vaut rien contre Aristote (2) ? En effet, les deux corps en question resteront *deux* corps liés et non pas *un seul* : deux chevaux pareils liés par une bride ne forment pas un cheval deux fois plus grand et, les deux ensemble, ne courent pas deux fois plus vite que chacun d'eux, mais exactement avec la même vitesse que s'ils n'étaient pas reliés ; de plus, même si l'on considérait les deux corps de Benedetti comme un seul corps, celui-ci n'aurait effectivement aucune raison d'aller plus vite que chacun d'eux pris isolément ; ni dans le vide, où la vitesse de toute façon serait infinie, ni dans le plein, puisque là ils auraient affaire à une résistance doublée (3). Or, la vitesse étant proportionnelle à la force et inversement proportionnelle à la résistance, elle serait la même dans les deux cas (4).

Et quant à « l'expérience » de Salviati, Simplicio, de même, aurait pu répondre qu'une botte de paille attachée à un boulet de canon reste une botte de paille, comme le boulet de canon reste

(1) *Diversarum Speculationum Mathematicarum et Physicarum Liber*, Taurini, 1585.

(2) *Ibid.*, p. 174 ; cf. p. 371 de mon article cité p. 203, n. 2.

(3) Si on les considérait comme liés par une barre matérielle, celle-ci offrirait une résistance supplémentaire à l'air ambiant.

(4) Deux hommes se tenant par la main ne tombent pas plus vite, ni en fait, ni selon Aristote.

boulet de canon. Et que, si la botte de paille tombe lentement lorsqu'elle est isolée, et le boulet de canon, vite, il est raisonnable, et nullement contraire à l'enseignement d'Aristote, d'admettre que, si on les liait ensemble, le boulet de canon accélérerait le mouvement de la botte de paille, et celle-ci ralentirait le mouvement du boulet de canon, bien que le poids de l'ensemble soit plus grand que celui des objets composants et notamment de celui du boulet : l'ensemble composé d'une botte de paille et d'un boulet de canon n'est pas un boulet de canon plus lourd. L'ensemble n'est pas un objet naturel. En plus, de même que dans sa réponse présupposée à Benedetti, Simplicio aurait pu ajouter que, même si l'on s'obstinait, à l'encontre du sens commun, du bon sens — et d'Aristote — à reporter sur l'ensemble ce qui ne vaut que pour les composants, on aurait dû tenir compte du fait que, le volume de l'ensemble ayant — par rapport au boulet — augmenté bien plus que son poids, la résistance au mouvement de l'ensemble s'est, elle aussi, accrue bien davantage que sa pesanteur, et qu'il est donc tout à fait normal — et, encore une fois, conforme à la dynamique d'Aristote — que si la proportion de la force mouvante à la résistance diminue, le mouvement, c'est-à-dire, sa vitesse, diminue également.

Simplicio aurait pu dire tout cela ; ou quelque chose d'analogue. Il est un peu dommage qu'il ne l'ait pas fait : la position aristotélicienne en eût été clarifiée ; sans que, pour cela, elle fût devenue plus forte. Car, à son tour, Salviati, en invoquant l'exemple de l'œuf de poule et de l'œuf de marbre, exemple dont il se sert dans un contexte un peu différent (1), aurait pu lui rétorquer que la prise en considération de la résistance ne sauve pas l'assertion de la proportionnalité de la vitesse et du poids, vu que là même où cette résistance, étant pareille pour les corps en question — l'œuf de poule et l'œuf de marbre — n'entre pas en ligne de compte, la vitesse de la chute des dits corps ne suit nullement la proportion de leurs poids. En fait, au lieu de se mouvoir beaucoup plus lentement que l'œuf de marbre, l'œuf de poule se meut presque aussi vite que celui-ci, et arrive à terre presque en même temps que lui.

(1) Cf. plus bas p. 209.

* * *

Si, dans sa critique-réduction à l'absurde de la dynamique d'Aristote que nous venons d'examiner, Galilée n'a pas tenu compte de la résistance opposée par le milieu au mouvement du corps descendant, n'en concluons pas qu'il ait, en général, méconnu le rôle qu'elle joue dans cette dynamique. Bien au contraire : c'est par la critique de la conception aristotélicienne concernant les rapports de la puissance à la résistance qu'il en viendra à démontrer, au moyen d'une expérience imaginaire, non seulement la possibilité de mouvement dans le vide, mais aussi le fait que, *dans le vide*, tous les corps tombent avec la même vitesse, et que c'est justement la résistance du milieu qui explique qu'il ne le font pas dans le plein.

Pourquoi, alors, a-t-il négligé d'en parler jusqu'ici ? Peut-être parce que, ayant présenté la dynamique aristotélicienne comme fondée sur deux principes-axiomes affirmant : *a)* que la vitesse est proportionnelle à la force motrice, et *b)* qu'elle est inversement proportionnelle à la résistance, a-t-il estimé devoir en faire la critique séparément (1) ; peut-être aussi parce que, habituellement, cette résistance — celle de l'air — est minime et, de ce fait, négligeable. En effet, lorsque Simplicio, au lieu d'exposer à Salviati les raisonnements que nous avons dû développer à sa place, se borne à lui dire que, tous ses arguments nonobstant, il ne croit pas qu'un grain de plomb tombe aussi vite qu'un boulet de canon, il s'attire de la part de Salviati une algarade violente (2) :

Salviati. — Vous devriez dire : « Un grain de sable aussi vite qu'une meule de moulin. » Mais je ne voudrais pas, Sign. Simplicio, que vous fassiez comme beaucoup d'autres qui font dévier la discussion de son objet principal, et s'attachent à mon assertion qui manque la vérité [de l'épaisseur] d'un cheveu, et que, sous ce cheveu, vous vouliez cacher le défaut d'une autre qui est aussi gros qu'un câble de navire. Aristote dit : « Un boulet de fer de 100 livres, tombant de la hauteur de 100 brasses, arrive à terre avant qu'un [boulet] d'une livre ne descende une seule brasse » ; je dis qu'ils arrivent en même temps ; vous trouvez, en faisant l'expérience, que le plus grand est de deux doigts en avance sur le plus petit, c'est-à-dire que lorsque le grand percute la terre, l'autre en est éloigné de deux doigts : or vous voudriez, derrière ces deux doigts, cacher les 99 brasses d'Aristote et, ne parlant que de mon erreur minime, passer

(1) Sa théorie propre tiendra compte des deux facteurs.
(2) *Discorsi*, *giornata prima* (*Opere*, vol. VIII), p. 110.

sous silence l'autre, très grande. Aristote déclare que les mobiles de gravités diverses se meuvent dans le même milieu (en tant que [leur mouvement] dépend de la gravité) avec des vitesses proportionnelles à leurs poids, et donne comme exemple [les mouvements] de mobiles dans lesquels on peut percevoir l'effet pur et absolu du poids, en laissant [de côté] les autres considérations, telles que celles de la forme comme [étant] d'importance minime, et comme dépendant grandement du milieu qui modifie l'effet propre et simple de la gravité seule ; ainsi font-elles que l'or, la matière la plus lourde de toutes, lorsqu'il est réduit à une feuille très mince, s'en va flottant dans l'air ; ce que font aussi les pierres moulues en poudre très fine. Mais si vous voulez maintenir la proposition générale, vous devez montrer que la proportion de la vitesse [à la gravité] est observée par tous les graves et qu'une pierre de 20 livres se meut dix fois plus vite qu'une de deux.

La résistance du milieu joue donc, effectivement, un certain rôle dans la détermination de la vitesse de la chute ; Aristote, en l'affirmant, ne s'est donc pas entièrement trompé. Il a, néanmoins, commis une erreur très grave en admettant qu'elle est — pour un grave donné — inversement proportionnelle à la résistance, c'est-à-dire à la densité, des milieux dans lesquels il se meut. Faute qui implique des conséquences inadmissibles.

En effet (1),

s'il était vrai que dans les milieux de rareté, ou de subtilité [densité] diverse, c'est-à-dire dans des milieux de résistance (lire : non-résistance, *cedenza*) différente, tels que sont, par exemple, l'eau et l'air, le même mobile se mouvait dans l'air avec une vitesse d'autant plus grande que l'air est plus rare que l'eau, il s'ensuivrait que tout mobile qui descend dans l'air descendrait également dans l'eau ; ce qui est faux dans la mesure où beaucoup de corps qui descendent dans l'air, non seulement dans l'eau ne descendent pas, mais encore s'élèvent.

Simplicio ne comprend pas très bien le raisonnement de Salviati ; en outre, il estime qu'il est illégitime, vu qu'Aristote ne s'est occupé que de corps qui descendent dans les deux milieux (l'eau et l'air), et non de ceux qui descendent dans l'un et remontent dans l'autre.

Prise à la lettre, l'objection de Simplicio est, sans doute, assez faible. Et Salviati a bien raison de le lui faire sentir en observant qu'il défend mal son maître. En effet, Simplicio aurait dû dire — ainsi qu'il l'avait fait jadis (2) — que la physique

(1) *Ibid.*, p. 110 ; cf. le même argument dans le *De Motu* (*Opere*, vol. I), pp. 263 sq.
(2) Cf. *Dialogo, giornata prima* (*Opere*, vol. VII), p. 38 ; p. 242.

d'Aristote n'est pas une physique mathématique et que, de ce fait, on ne doit pas prendre à la lettre — à la lettre mathématique — les formules de proportionnalité qu'elle avance ; elles ne sont, en fait, que qualitatives et vagues ; elles sont de l'à-peu-près (1). Galilée, bien entendu, le sait fort bien. Mais il estime, sans doute, qu'ayant traité du problème général de la mathématisation de la science physique dans son *Dialogo* (2), il n'avait plus besoin d'en discuter dans les *Discorsi*. Il aurait pu ajouter que la prise à la lettre des formules pseudo-mathématiques d'Aristote n'est pas quelque chose qui lui soit propre et que les commentateurs d'Aristote l'ont fait bien avant lui (3). Aussi Salviati procède-t-il à la démonstration, sur un exemple « concret », des conséquences absurdes, et même contradictoires, de la thèse d'Aristote.

Admettons, dit-il à Simplicio (4), qu'il y ait entre la corpulence de l'eau — ou quoi que ce soit qui retarde le mouvement — et la corpulence de l'air, qui le retarde moins, une proportion définie ; et fixons-la à votre plaisir. « Soit, répond Simplicio, admettons qu'elle soit dix. » Alors, poursuit Salviati, la vitesse d'un corps qui descend dans ces deux milieux sera dix fois plus lente dans l'eau que dans l'air. Prenons maintenant un corps qui tombe dans l'air, mais non dans l'eau — une balle de bois — et assignons-lui une vitesse quelconque pour sa descente dans l'air — « Mettons qu'elle soit de vingt degrés de vitesse », propose Simplicio.

(1) Simplicio, au fond, a raison : en substituant un schéma strictement quantitatif aux conceptions semi-qualitatives d'Aristote, aux déterminations duquel il faut toujours ajouter « plus ou moins », on en fausse sensiblement le sens ; cf. là-dessus mes *Études galiléennes*, III, pp. 120 sq., et, tout récemment, M. E. J. Dijksterhuis, The Origins of Classical Mechanics, in *Critical Problems in the History of Science*, Madison, Wisconsin, 1959.

(2) Cf. *Dialogo*, *giornata prima*, pp. 38 sq. ; *secondo*, pp. 229 sq. ; 242 sq. ; *terzo*, pp. 423 sq. ; cf. aussi *Il Saggiatore* (*Opere*, vol. VI), p. 232, etc.

(3) Aussi les critiques médiévaux — et déjà, en fait, Aristote lui-même — lui ont-ils opposé les considérations-contradictions suivantes : de l'égalité de la force à la résistance résulte, conformément à sa formule, la vitesse 1 ($V = P : R$, $P = R$ donc $V = 1$) ; or, il est clair que si la résistance est égale à la vitesse, aucun mouvement ne s'ensuivra. La formule : vitesse = force : résistance implique même quelque chose d'encore plus absurde, à savoir que toute force, si petite soit-elle, produit toujours du mouvement, si grande que soit la résistance qui lui soit opposée. On a donc — depuis Averroès — énoncé certaines formules devant tenir compte de ces circonstances, en particulier celle qui détermine la vitesse comme proportionnelle non pas à la force, mais à l'excès de la force sur la résistance, formule très analogue à celle qu'adoptera Benedetti (cf. plus bas, pp. 222 sq.) ; et Bradwardine en adoptera même une plus compliquée qui, en notation moderne, équivaut à une fonction logarithmique ; cf. là-dessus, Marshall Clagett, *Giovanni Marliani and late Medieval Physics*, pp. 129 sq., New York, 1941 ; et Anneliese Maier, *Die Vorläufer Galileis im XIV Jahrhundert*, pp. 81 sq., Roma, 1949.

(4) *Discorsi*, p. 111.

Alors, conclut Salviati, ce corps aurait dû, conformément à la théorie d'Aristote, descendre dans l'eau avec la vitesse de deux degrés et non pas s'élever, comme il le fait. *Vice versa*, un corps, plus lourd que le bois, qui descendrait dans l'eau avec la vitesse de deux degrés, devrait le faire dans l'air avec la vitesse de vingt, c'est-à-dire avec celle de la balle de bois, plus légère, ce qui contredit l'enseignement d'Aristote concernant la proportionnalité de la vitesse et du poids. D'ailleurs, l'expérience journalière est là pour nous prouver que l'assertion d'Aristote est fausse et que le rapport des vitesses des corps qui descendent dans l'eau est très différent de celui de la vitesse de leurs chutes dans l'air : « Ainsi, par exemple (1), un œuf de marbre descendra dans l'eau cent fois plus vite qu'un œuf de poule, tandis que dans l'air, [en tombant] de la hauteur de 20 brasses, il n'aura pas une avance de quatre doigts. En bref, tel corps lourd qui, dans 10 brasses d'eau, va au fond en trois heures, les traversera, dans l'air, en un ou deux battements de pouls ; et tel autre (ainsi une balle de plomb) traverserait [les 10 brasses d'eau] en un temps moins que double [de celui de sa chute dans l'air]. »

Il s'ensuit donc que l'objection aristotélicienne contre la possibilité d'un mouvement dans le vide, fondée sur l'accroissement de la vitesse proportionnellement à la diminution de la résistance, est sans valeur : la vitesse dans le vide ne sera nullement infinie (2).

La possibilité du mouvement dans le vide, et ce en partant des mêmes bases, à savoir de la critique de la « proportionnalité » aristotélicienne, a été, comme on le sait, affirmée déjà par Benedetti. Mais Benedetti, en démontrant — comme le fera aussi Galilée — que la force motrice, prise comme égale, ou identique, au poids, devait être diminuée de, et non pas divisée par, la valeur de la résistance, en avait conclu que, dans le vide, les corps descendraient avec des vitesses proportionnelles à leurs poids spécifiques, et non pas, comme le fera Galilée, qu'ils tomberaient, tous, avec la même. Aussi est-il intéressant de noter que — sans le nommer toutefois — Sagredo invoque la thèse de Benedetti, thèse à laquelle, d'ailleurs, ainsi que nous l'avons vu, Salviati avait semblé donner son adhésion (3).

(1) *Ibid.*

(2) *Ibid.*, p. 112.

(3) *Ibid.*, pp. 112 sq. C'est un usage constant — et très pédagogique — chez Galilée, que de faire parcourir par le lecteur, les phases de sa propre pensée, de le faire tomber dans les erreurs dans lesquelles il est tombé lui-même, et de l'en libérer. C'est Sagredo qui est, habituellement, chargé de représenter la phase intermédiaire, et Salviati, celle à laquelle il aboutit.

Vous avez clairement démontré, dit-il, qu'il n'est pas vrai que les mobiles inégalement graves se meuvent dans le même milieu avec des vitesses proportionnelles à leurs poids, mais [qu'ils se meuvent] avec la même, étant entendu [qu'il s'agit] de graves de la même matière, ou bien de la même gravité spécifique, mais non, toutefois, [de corps] de gravités spécifiques différentes ; car je ne pense pas que vous ayez l'intention d'en conclure qu'une balle de liège se meut avec la même vitesse qu'une de plomb ; vous avez, de plus, démontré très clairement qu'il n'est pas vrai que le même mobile, dans les milieux de résistances diverses, observe, en ce qui concerne sa vitesse et sa lenteur, les proportions mêmes de ces résistances ; aussi serais-je très heureux de savoir quelles sont les proportions actuellement observées dans un cas et dans l'autre.

Or, nous savons bien que ce que Galilée entend démontrer, c'est justement ce qui paraît incroyable à Sagredo — et jadis à lui-même — à savoir que, dans le vide, une balle de liège et une de plomb tombent non pas avec des vitesses différentes, mais avec la même. Thèse parfaitement extravagante et au sujet de laquelle, avec bien plus de droit encore qu'au sujet de sa loi de l'accélération des corps dans leur chute, il aurait pu dire qu'elle n'avait, avant lui, été soutenue par personne (1). Aussi est-il intéressant d'analyser de près sa démonstration. Cela d'autant plus qu'elle nous révèle la marche de sa pensée (2).

Après m'être rendu certain qu'il ne soit pas vrai que le même mobile, dans des milieux de résistances diverses, observe, dans sa vitesse, la proportion de la non-résistance *(cedenza)* des dits milieux, de même [qu'il ne soit pas vrai] que, dans le même milieu, les mobiles de gravités diverses observent dans leurs vitesses la proportion de leurs gravités (en l'entendant aussi des gravités spécifiques (3) diverses), j'ai commencé à combiner ensemble ces deux accidents (qualités), et à me demander ce qui arriverait aux mobiles différents placés dans des milieux de résistances diverses. Et je m'aperçus que l'inégalité des vitesses se trouvait être beaucoup plus grande dans des milieux plus résistants que dans ceux qui cèdent plus facilement, et ce avec une différence telle que deux mobiles qui, tombant dans l'air, différaient à peine quant à la vitesse de [leur] mouvement, [se meuvent] dans l'eau avec une vitesse dix fois plus grande l'un que l'autre ; et aussi que tel [corps] qui, dans l'air, descend

(1) La règle de sommation de l'espace parcouru par un corps, ou un point, en mouvement uniformément accéléré (uniformément difforme), a été connue au Moyen Age, à Oxford d'abord, et à Paris ensuite, dès la première moitié du XIV^e^ siècle ; elle a même été appliquée au mouvement de la chute par Dominique Soto, au XVI^e^. Cf. les ouvrages bien connus de P. DUHEM, *Études sur Léonard de Vinci*, 3 vol., Paris, 1908-13 ; son *Système du monde*, vol. VII et VIII, Paris, 1956 et 1958 ; et les ouvrages cités p. 208, n. 3.

(2) *Discorsi*, p. 113.

(3) La référence à Benedetti est patente.

rapidement, dans l'eau non seulement ne descendra pas, mais restera entièrement privé de mouvement ou même montera. En effet, il est possible de trouver certaines sortes de bois, ou de nœuds, ou de racines, qui dans l'eau peuvent demeurer en repos [immobiles], mais tombent rapidement dans l'air.

La mention de corps qui restent en équilibre dans l'eau donne lieu à une digression (en soi intéressante et qui permet à Sagredo, ainsi qu'à Salviati, d'invoquer des expériences assez étonnantes sur l'équilibre hydrostatique, et autres choses encore), qui brise la marche du raisonnement et que, de ce fait, je n'examinerai pas ici (1). Poursuivons donc le rapport de Salviati (2) :

Ayant vu que la différence de vitesse, dans des mobiles de gravités diverses, se trouve être beaucoup plus grande dans les milieux de plus en plus résistants — ainsi dans le mercure non seulement l'or ira-t-il au fond plus rapidement que le plomb, mais il est le seul qui y descende, pendant que tous les autres métaux et toutes les pierres se meuvent vers le haut et flottent, — tandis qu'entre des balles d'or, de plomb, de cuivre, de porphyre et d'autres matières lourdes, l'inégalité dans le mouvement dans l'air sera si peu sensible que, à la fin d'une chute de [la hauteur] de 100 brasses, une balle d'or ne précédera pas de quatre doigts une balle de cuivre ; ayant vu cela, dis-je, je formai l'opinion que, si la résistance du milieu était totalement supprimée, tous les mobiles descendraient avec une vitesse égale.

Le raisonnement de Galilée se présente donc comme une espèce de passage à la limite : les deux séries de grandeurs, celle de la résistance des milieux dans lesquels se meuvent les graves, et celle de la différence de leurs vitesses, évoluent d'une manière concordante : plus cette résistance est forte, et plus la différence est grande ; inversement, à mesure que la première s'affaiblit, la seconde diminue (3). Supprimons la première : on a toute chance de voir la seconde disparaître également.

Cela, bien entendu, n'est pas une preuve logiquement satisfaisante. Et l'aristotélicien n'a pas entièrement tort de ne pas l'accepter comme telle (4). Pour démontrer la proposition galiléenne, il faudrait une expérience. Mais celle-ci est impossible.

(1) Cf. Appendice, pp. 239-241.

(2) *Discorsi*, p. 116.

(3) Dans le schéma aristotélicien cette différence — proportionnelle aux poids des corps descendants et aux densités des milieux — devrait rester inchangée.

(4) Ceci d'autant moins qu'elle contredit la théorie, à première vue si séduisante, de Benedetti.

Aussi Galilée se voit-il obligé de renverser le procédé et de montrer qu'en partant de son hypothèse de la vitesse égale de la chute des graves dans le vide il peut retrouver les données de l'expérience réelle ; et, en outre, d'expliquer le rôle véritable de la résistance dans le retardement effectif du mouvement. Il poursuit donc (1) :

Nous sommes en train de rechercher ce qui arriverait à des mobiles très différents en poids dans un milieu où la résistance serait nulle, et où, donc, toute la différence de vitesse qui se trouverait entre ces mobiles doive être rapportée à la seule inégalité de poids ; et, comme seul un espace entièrement vide d'air et de tout autre corps, si ténu et peu résistant [cédant] qu'il soit, serait apte à montrer à nos sens ce que nous recherchons, et comme un tel espace nous manque, nous procéderons en observant ce qui se passe dans les milieux plus rares et moins résistants en comparaison avec ce qui se passe dans d'autres, moins rares et plus résistants. Or, si nous trouvons, en fait, que les mobiles de gravités différentes diffèrent d'autant moins en vitesse qu'ils se trouvent dans des milieux de moins en moins résistants [lire : de plus en plus cédants], et que, finalement, encore qu'ils soient extrêmement différents en poids, la différence de [leurs] vitesses, dans un milieu plus ténu que tous les autres, bien que non [totalement] vide, s'avère être extrêmement petite, et presque inobservable, il me paraît que nous pourrons bien croire, faisant une conjecture très probable, que, dans le vide, leur vitesse sera tout à fait égale. Considérons donc ce qui se passe dans l'air ; et, pour avoir un corps de surface [de forme] bien déterminée et d'une matière extrêmement légère, imaginons une vessie gonflée : l'air qui y sera (à l'intérieur), placé dans le milieu fait du même air, ne pèsera rien, ou très peu, parce qu'il pourra n'être que très peu comprimé (2) ; aussi sa gravité ne sera que celle, très petite, de la pellicule elle-même, qui n'atteindra pas la millième partie du poids d'une masse de plomb de la même grandeur que la dite vessie gonflée. Or, si on les [le plomb et la vessie] laisse tomber [d'une hauteur] de 4 ou 6 brasses, de quel espace, estimez-vous, Sign. Simplicio, le plomb sera-t-il en avance sur la vessie ? Soyez certain qu'il ne le sera pas du triple, ni même du double.

« Il se peut, répond Simplicio (3), qu'au début du mouvement, c'est-à-dire, dans les premières 4 ou 6 brasses, cela se passe comme vous le dites. Je crois, cependant, qu'ensuite, [le mouvement] continuant pendant longtemps, le plomb [la vessie] laissera derrière lui non seulement de six parties sur douze, mais même de huit ou de dix. »

(1) *Discorsi*, p. 117.

(2) La pesanteur de l'air n'est pas en discussion ; ni, non plus, le fait qu'il pèse d'autant plus qu'il est plus comprimé : ce sont là choses que tout le monde admet. En revanche, il faut — et peut-être d'autant plus — admirer l'ingéniosité de Galilée dans le montage de son expérience, bien qu'elle ne puisse, évidemment, prétendre à la précision.

(3) *Discorsi*, p. 117.

Salviati acquiesce ; et même renchérit (1) :

Si la chute durait suffisamment longtemps, le plomb pourait parcourir 100 000 milles, tandis que la vessie n'en parcourrait qu'un seul.

Mais cela ne contredit aucunement sa thèse : bien au contraire, le fait que les vitesses des corps en chute libre diffèrent de plus en plus au cours de cette chute la confirme. C'est justement ce qui doit avoir lieu si la différence des vitesses n'est pas causée par celle des poids, mais ne dépend que de circonstances extérieures, à savoir la résistance du milieu ; elle ne se produirait pas si la vitesse dépendait de la gravité des corps descendants.

Car, étant donné qu'elles [les gravités] sont toujours les mêmes, la proportion entre les espaces parcourus devrait, elle aussi, demeurer la même, tandis que nous voyons que, dans la continuation du mouvement, cette proportion croît toujours.

L'argument de Galilée est spécieux. Il peut même paraître un peu léger, et n'être que purement polémique, c'est-à-dire destiné à abattre — ou à faire taire — l'adversaire en se plaçant sur son propre terrain. En fait, il n'est rien moins que cela. Sans doute se met-il sur le terrain de son adversaire — tout argument critique doit le faire — mais, dans la pensée de Galilée, il doit être pris très au sérieux. Car, ce qu'il reproche à l'aristotélisme (et aussi, implicitement, à Benedetti-Sagredo), c'est de se heurter au principe fondamental de toute explication scientifique : des causes constantes produisent des effets constants. Ce dont il s'enorgueillit, au contraire, c'est d'avoir établi une doctrine qui lui est conforme.

Dans la dynamique aristotélicienne, nous le savons bien, une force constante produit un mouvement uniforme. Le poids constant d'un corps ne devrait donc pas produire un mouvement *accéléré* de la chute (2). Mais passons outre : admettons qu'il « cause » un mouvement accéléré : alors, tout au moins, les rapports entre les vitesses « causées » par des poids différents auraient dû être constants, et de ce fait les rapports entre les espaces parcourus devraient également être constants. Or, en fait, ils ne le sont pas.

Il semble, d'ailleurs, que la doctrine galiléenne de la chute soit sujette à la même objection. Car si, dans celle-ci, l'effet

(1) *Ibid.*, p. 118.

(2) L'explication de cette accélération est une *crux* de la dynamique aristotélicienne.

premier et immédiat de la gravité n'est pas le mouvement, mais l'accélération, et l'accroissement de la vitesse de la chute seulement un effet secondaire (1), cette accélération, à supposer qu'elle soit différente pour des corps différents — la vessie gonflée et le boulet de plomb placés dans le même milieu —, n'en demeure pas moins constante pour chacun d'eux. Il en résulte — ou semble en résulter — que les rapports entre les vitesses et les espaces parcourus doivent également demeurer constants.

Que le rôle de la résistance par rapport à la force motrice soit mal compris par Aristote et le soit bien par Galilée [ou Benedetti] ne change rien à la situation fondamentale : des facteurs constants ne peuvent pas produire des effets variables.

Or, c'est justement ce que dit Simplicio qui, en bon logicien, n'a pas eu besoin de l'explication du raisonnement galiléen auquel nous avons dû procéder (2) :

> Très bien ; mais, pour marcher sur vos traces, si la différence de poids dans les mobiles de gravités diverses ne peut pas être la raison du changement de la proportion de leurs vitesses, vu que les gravités ne changent pas, comment donc le milieu, qui est supposé demeurer toujours le même, pourrait-il occasionner un changement quelconque dans le rapport de celles-ci ?

Simplicio, nous venons de le voir, a parfaitement raison : si la résistance du milieu avait une valeur constante — ainsi que l'admet Aristote (et Galilée lui-même, en suivant Benedetti, le fera aussi dans un contexte différent), le rapport des vitesses, produit de deux « causes » constantes, demeurerait constant. Mais c'est là justement qu'est l'erreur : la résistance du milieu n'est pas constante, mais varie ; et ce en fonction même de la vitesse du mouvement. Salviati va donc à en donner l'explication (3) :

> Je dis tout d'abord qu'un corps grave a, par sa nature, un principe inhérent [une tendance interne] à se mouvoir vers le centre commun des graves (4), c'est-à-dire, [vers le centre] de notre globe terrestre, avec un mouvement constamment accéléré, et accéléré toujours égale-

(1) L'accroissement de la vitesse, et la vitesse elle-même, ne sont que des effets, ou accumulations, d'accélérations.

(2) *Discorsi*, p. 118.

(3) *Ibid.*, cf. aussi *De Motu*, p. 255 sq.

(4) L'ignorance — proclamée dans le *Dialogue* — de la nature de la gravité n'empêche pas Galilée de reconnaître en elle un principe inhérent aux corps. C'est là, d'ailleurs, la condition indispensable de la constance de l'accélération.

ment, c'est-à-dire, [de manière telle] que dans des temps égaux, il reçoit des adjonctions égales de moments et de degrés nouveaux de vitesse. Et ceci doit s'entendre comme se vérifiant chaque fois que tous les empêchements accidentels et extérieurs sont enlevés, parmi lesquels il y en a un que nous ne pouvons pas supprimer, à savoir, l'empêchement du milieu plein qui doit être pénétré et mû vers le côté par le mobile ; or, bien que nous le supposions tranquille, fluide et peu résistant [cédant], ce milieu [l'air] s'oppose au dit mouvement transversal avec une résistance plus petite ou de plus en plus grande, selon qu'il doit s'ouvrir [s'écarter] lentement ou rapidement pour donner la voie au mobile. Ainsi celui-ci, parce que, comme je l'ai dit, il est, par sa nature, continuellement accéléré, en vient à rencontrer une résistance continuellement accrue du milieu, et de ce fait [subit] une retardation et une diminution dans l'acquisition des degrés nouveaux de vitesse ; aussi, finalement la vitesse atteint un tel point et la résistance du milieu, une telle grandeur que, en s'équilibrant entre elles, elles font cesser toute accélération ultérieure (1).

A partir de ce moment, le mobile en question se meut d'un mouvement « équable » et uniforme avec la vitesse acquise dans la descente (2). Or, cet accroissement de la résistance ne provient pas d'un changement dans la nature du milieu, mais uniquement de l'accroissement de la vitesse avec laquelle il doit s'écarter — latéralement — de la trajectoire du corps descendant. Ainsi, pouvons-nous ajouter, se trouve sauvegardé le principe essentiel de la proportionnalité de la cause à l'effet et, en même temps, expliqué comment d'une cause constante peut provenir un effet variable.

Le passage de Galilée que je viens de citer est très intéressant et très significatif. En effet, non seulement il nous présente une explication mécanique de la résistance du milieu — conception d'une importance capitale (3) et qui n'est pas diminuée par le fait

(1) Il est intéressant de noter — mais nous y reviendrons — que si la résistance à l'accélération est proportionnelle à la vitesse, et donc croît proportionnellement à celle-ci, sa valeur propre (ou sa « vitesse ») diminue en proportion inverse ; le rapport entre la résistance et l'accélération est donc exactement le même que celui qu'Aristote postule entre résistance et vitesse.

(2) Cf. plus bas, App. II, n. 2, p. 214. M. I. B. Cohen, dans un livre récent (*The birth of a new Physics*, pp. 117 sq., New York, 1960), fait la remarque très profonde que ce mouvement descendant « équable et uniforme », est un mouvement inertial, le seul mouvement inertial qui peut se réaliser dans la physique galiléenne.

(3) C'est de là que sont parties toutes les études ultérieures sur la résistance des milieux au mouvement des corps. Aussi n'importe-t-il guère que, comme le remarque Newton (*Principes mathématiques de la Philosophie naturelle*, II, section I : *Des mouvements*

que, dans son application au réel, Galilée commet une erreur fort curieuse (1) — mais il nous révèle encore ce que j'aimerais appeler les axiomes sous-jacents de sa pensée, axiomes qu'il néglige de formuler clairement et explicitement — ou n'arrive pas toujours à formuler —, mais qui se montrent, en quelque sorte, à l'œuvre dans ses raisonnements mêmes.

Le corps grave... mais nous savons que, pour Galilée, comme pour Benedetti et Archimède, tous les corps sont « graves » et qu'il n'y en a pas de légers (2) ; nous pouvons donc étendre à tous les corps, ou au corps en tant que tel, ce qu'il nous dit du grave, et dire que tout corps « possède » un principe interne en vertu duquel il se dirige vers le centre de la Terre d'un mouvement uniformément accéléré. En d'autres termes, la gravité, dont par ailleurs nous ignorons la « nature » (3), peut, néanmoins, se définir comme « cause » ou « principe » *inhérent* et consubstantiel au corps, comme une force non seulement *constante*, mais encore comme étant *la même* dans tous les corps, quels qu'ils soient. C'est pour cela, justement, que l'accélération a une valeur constante, et la même, pour tous les corps, quels qu'ils soient ; et où qu'ils soient placés — ce qui ne serait pas le cas si la gravité était un effet d'une force extérieure, telle, par exemple, que l'attrac-

des corps qui éprouvent une résistance en raison de leur vitesse, scolie, vol. I, p. 254, Paris, 1759), « l'hypothèse qui fait la résistance des corps proportionnelle à leur vitesse est plus mathématique que conforme à la nature » et qu'en fait, « dans les milieux qui n'ont aucune ténacité les résistances des corps sont en raison doublée des vitesses », et non en raison des vitesses ainsi que l'avait cru Galilée.

(1) Cf. plus bas, Appendice II.

(2) Cf., déjà, *De Motu*, p. 360 : « Concludamus itaque, gravitatis nullum corpum expers esse, sed gravia esse omnia, haec quidem magis, haec autem minus, prout eorum materia magis est constipata et compressa, vel diffusa et extensa, fuerit. »

(3) Cf. Dialogo (*Opere*, vol. VII, pp. 260 sq.) :

Simplicio. — La causa di quest'effeto (le mouvement des parties de la terre vers le bas) è notissima et ciaschedun sa che è la gravità.

Salviati. — Voi errate, Sig. Simplicio ; voi dovevi dire che ciaschedun sa ch'ella si chiama gravità. Ma io non vi domando del nome, ma dell'essenza della cosa : della quale essenza voi non sapete punto piu di quello che voi sappiate dell'essenza del movente le stelle in giro, eccettuatone il nome, che a questa è stato posto e fatto familiare e domestico per la frequente esperienza che mille volte il giorno ne veggiamo ; ma non è che realmente noi intendiamo più, che principio o che virtù sia quella che muove la pietra in giù, di quel che noi sappiamo chi la muova in su, separata dal proiciente, o chi muova la Luna in giro, eccettochè (come ho detto) i nome, che più singulare e proprio gli abbiamo assegnato di *gravità*, dovechè a quello con termine più generico assegnamo *virtù impressa*, a quello diamo *intelligenza*, o *assistente*, o *informante*, ed a infiniti altri moti diamo loro per cagione la *natura*.

tion (1). Ce qui, également, implique qu'en dernière analyse, la matière dont sont constitués les corps — du moins les corps terrestres — est identiquement la même en eux tous et ne comporte pas de distinctions qualitatives. La gravité d'un corps (dans le vide) est donc strictement proportionnelle à la quantité de matière qu'il contient. En anticipant un peu et en prêtant à Galilée une terminologie qu'il ignore, on pourrait dire que, pour lui, la masse d'un corps et sa gravité ne font qu'un (2).

On pourrait même aller plus loin et, anticipant une fois de plus, dire que, pour Galilée, la masse inertiale et la masse gravifique sont essentiellement identiques, bien que cette identité n'apparaisse que dans le mouvement dans le vide, et non dans celui qui a lieu dans le plein, ainsi que nous le verrons tout à l'heure. Masse inertiale ? Sans doute Galilée n'emploie-t-il pas ce terme (3), il n'en reste pas moins vrai que dans ses raisonnements, il fait constamment usage de cette notion (4). En effet, en dehors

(1) C'est dans ce refus de chercher une explication à la gravité, et d'en former une théorie, que se trouve la source de la stérilité du galiléisme en théorie astronomique, et de l'échec de Borelli. Une théorie mauvaise, c'est toujours mieux que l'absence de toute théorie.

(2) L'histoire de la notion de masse = quantité de matière est encore assez obscure. On pourrait soutenir, d'une part, qu'elle est, du moins implicitement, présente déjà chez Archimède ; et, d'autre part, que sa détermination par : volume × densité, de même que par le poids, l'est également : c'est la base même de l'art de l'essayeur. On pourrait aussi — et c'est assez mon avis — attribuer à Képler la gloire d'avoir découvert cette notion. C'est lui, en effet, qui (en distinguant la masse = quantité de matière = volume × densité, qui intervient dans les relations dynamiques et demeure constante, de son poids, qui ne le fait pas), en a, pour la première fois, donné une définition correcte. Exploit d'autant plus méritoire qu'en dynamique, Képler est encore aristotélicien, bien qu'hérétique. Pour la préhistoire de la notion de masse, cf. Anneliese Maier, *Die Vorläufer Galileis im XIV. Jahrhundert*, Roma, 1949.

(3) Le terme « inertie » *(inertia)*, vient de Képler et veut dire, pour lui, à peu près le contraire de ce qu'il veut dire pour nous, à savoir, une résistance du corps à être mû, une *inclinatio ad quietem*, pour parler comme Nicole Oresme. J'emploie ce terme, bien entendu, dans son sens moderne.

(4) On pourrait soutenir, d'ailleurs, que la *notion* d'inertie = résistance au mouvement = inclination au repos, ne fait qu'expliciter une conception fondamentale et essentielle de l'aristotélisme : pourquoi, en effet, faudrait-il des forces pour mouvoir les corps, si ceux-ci n'opposaient pas de résistance au fait d'être mus ? et pourquoi s'arrêteraient-ils, privés de moteur, s'ils n'avaient pas, en eux-mêmes, une inclination au repos ? Enfin, allant plus loin : le mouvement étant l'actualisation d'une puissance, comment concevoir cette dernière comme ne résistant pas à l'actualisation ?

On pourrait ajouter, en outre, que la notion moderne d'inertie n'est pas si loin de celle de Képler (ou d'Aristote) qu'il apparaît à première vue, et que je viens de le dire : comme celle-ci, elle est *résistance au changement*. Cf. Newton, *Principes mathématiques de la Philosophie naturelle*, vol. I, p. 2, Paris, 1759.

du « principe inhérent » de la gravité, le corps galiléen possède un second principe interne — qui, pour lui, est le même — à savoir celui de la résistance à l'accélération, ou la décélération, qu'on lui impose ou lui fait subir (1) et ce en proportion même de la grandeur de cette accélération (positive ou négative) (2) et de son poids, ou, dirons-nous, de sa masse, c'est-à-dire de la quantité de matière qu'il contient (3). C'est pour cela — et par cela — que le milieu tranquille et cédant résiste au mouvement du corps descendant : les parties du milieu — que Galilée se représente comme un fluide parfait — qui n'ont aucun lien les unes avec les autres (aucune viscosité) s'opposent à leur mise en mouvement (latéral), et ce d'autant plus que ce mouvement latéral, en fonction de la vitesse de la chute du dit corps, est plus rapide ; ou, plus exactement, dans la mesure où leur accélération (passage du repos au mouvement) est plus grande. On pourrait dire aussi : dans la mesure où l'action sur le milieu du corps descendant est plus grande, plus grande aussi est la réaction du milieu ; ou de ses parties (4). Il est clair que cette réaction est également d'autant plus forte — la résistance du milieu d'autant plus grande — que celui-ci est plus dense ; ou, ce qui est la même chose, plus lourd. Il est clair, enfin, qu'un corps descendant surmontera la résistance du milieu d'autant plus facilement que la force qui l'anime est plus grande ; en d'autres termes : qu'il est plus lourd ; ou, plus exactement, qu'il est plus lourd que le milieu en question. Ainsi, nous avons vu combien forte était la résistance que l'air opposait au très faible *momentum* de la vessie gonflée, et combien petite était celle qu'il opposait au grand poids de la balle de plomb ; c'est même de là que nous avons conclu que, si le milieu était entièrement supprimé, l'avantage qui en résulterait pour la vessie serait si grand, et celui qu'en obtiendrait la balle de plomb, si petit, que leurs vitesses deviendraient égales. Or, si nous admettions le prin-

(1) Il s'agit de la résistance à l'accélération, et non au mouvement auquel le corps est « indifférent » et qui, lui, se conserve. C'est justement pour cela que, lorsque, dans la chute, l'accélération est neutralisée par la résistance externe (du milieu), le grave continue à se mouvoir avec une vitesse uniforme.

(2) Aussi faut-il une force plus grande pour conférer à un corps donné une accélération plus grande (un mouvement plus rapide) ; l'accélération est proportionnelle à la force.

(3) L'accélération est ainsi — pour une force donnée — inversement proportionnelle à la masse (poids) des corps sur lequel elle agit.

(4) Implicitement, nous avons là l'affirmation de l'égalité de l'action et de la réaction. Elle a, d'ailleurs, déjà été affirmée, justement pour le choc, par Léonard de Vinci.

cipe que « dans un milieu qui, en vertu du vide ou de quelque chose d'autre » (1) n'offre aucune résistance au mouvement, tous les corps tombent avec la même vitesse (2), nous serions en état de déterminer les rapports de vitesses des corps semblables et dissemblables se mouvant soit dans le même milieu, soit dans des milieux différents ; en d'autres termes, nous pourrions, nous, résoudre — correctement — le problème auquel Aristote a donné une solution que nous avons démontré être fausse.

***

En fait, dans les considérations destinées à substituer la vérité galiléenne à l'erreur d'Aristote, le rôle du milieu nous apparaîtra sous un aspect sensiblement différent. Son action ne sera plus dynamique, mais — comme chez Benedetti — statique ; ou, si l'on préfère, hydrostatique. Le milieu ne s'opposera pas au mouvement du corps descendant : il lui enlèvera du poids.

Galilée s'est-il rendu compte de ce changement dans le mode d'action du milieu ? Il n'en dit mot, et passe de l'un à l'autre sans s'arrêter au passage. Il me paraît, toutefois, impossible d'admettre qu'il les ait confondus (3). Il est plus probable qu'il ait estimé que les deux se superposent ; et qu'il ait fait confiance à son lecteur pour les distinguer. Quoi qu'il en soit, il nous dit que nous pouvons obtenir la solution du problème en question en observant combien le poids du milieu soustrait au poids du mobile, qui [le poids] est le moyen employé par celui-ci [le mobile] pour s'ouvrir un passage dans le milieu et pour écarter les parties de ce dernier de sa voie... (4).

Or, comme il est connu que l'effet du milieu est de diminuer le poids du corps [qui y est plongé] du poids du milieu qu'il déplace, nous pouvons atteindre notre but en diminuant dans la même proportion les vitesses des corps descendants, [vitesses] que, dans le vide, nous avons admis être égales.

(1) *Discorsi*, p. 119. Quelque chose d'autre !?

(2) La résistance à l'accélération des corps descendants est proportionnelle à leur masse, mais la force mouvante, *i. e* la gravité, l'est également ; d'où accélération égale.

(3) La résistance de l'air dans le mouvement du pendule et celui des projectiles joue un rôle purement mécanique ; cf. plus loin, pp. 233-6.

(4) *Discorsi*, p. 119.

Curieux raisonnement (1), et qui confirme l'interprétation de la conception galiléenne que j'ai donnée plus haut : « le poids » est la « cause » ou la « raison » de l'accélération. Diminuez le « poids » agissant sur le corps : l'accélération, et donc la vitesse, diminuera d'autant, pourvu que la résistance qu'il oppose à l'action de ce poids reste la même.

Ainsi, par exemple, imaginons-nous que le plomb soit dix mille fois plus lourd que l'air, tandis que l'ébène ne le soit que mille fois (2). Nous avons là deux substances dont les vitesses de chute, dans un milieu privé de résistance, sont égales. Mais si c'est l'air qui est ce milieu, il soustraira de la vitesse du plomb une partie en dix mille et de celle de l'ébène, une partie en mille, c'est-à-dire, dix en dix mille. En conséquence, tandis que si l'effet retardant de l'air était supprimé, le plomb et l'ébène tomberaient en même temps de n'importe quelle hauteur donnée, dans l'air le plomb perdra une partie en dix mille de sa vitesse, et l'ébène, dix parties en dix mille (3). Autrement dit, si la hauteur dont partent les [deux] corps était divisée en dix mille parties, le plomb atteindrait la terre en laissant l'ébène derrière lui de dix ou, du moins, de neuf, de ces parties. N'est-il pas clair, alors, qu'une balle de plomb que l'on laisserait tomber d'une tour haute de 200 brasses, ne devancera une balle d'ébène même pas de 4 pouces ? Or, l'ébène pèse mille fois autant que l'air, mais la vessie gonflée [ne pèse] que quatre fois autant. En conséquence, l'air diminue la vitesse naturelle et inhérente de l'ébène d'une partie sur mille, tandis que celle de la vessie qui, libre d'empêchement, serait la même, éprouve, dans l'air, une diminution d'une partie sur quatre. Aussi, lorsque la balle d'ébène, en tombant [du haut] de la tour, aura atteint la terre, la vessie n'aura traversé que trois quarts de cette distance. Le plomb est douze fois aussi lourd que l'eau ; mais l'ivoire l'est seulement deux fois. Les vitesses de ces deux substances qui, si [leurs mouvements] ne sont aucunement entravés, sont égales, seront, dans l'eau, diminuées d'une partie sur douze pour le plomb et d'une sur deux pour l'ivoire. Ensuite de cela, lorsque le plomb aura descendu à travers 11 brasses d'eau, l'ivoire ne descendra qu'a travers six. En suivant ce principe nous trouverons, je crois, un accord bien meilleur de l'expérience avec nos calculs qu'avec ceux d'Aristote.

(1) Selon ce raisonnement, pris à la lettre, les vitesses sont proportionnelles aux poids, comme chez Aristote — ou Benedetti. Mais justement, il ne faut pas prendre le raisonnement galiléen à la lettre, car ce n'est pas de « vitesse », mais d'accélération qu'il s'agit. En modernisant, comme je l'ait fait, p. 217, on pourrait dire que la plongée d'un grave dans un milieu qui l' « allège », sépare sa masse gravifique de sa masse inertiale.

(2) *Discorsi*, pp. 119 sq. Remarquons, une fois de plus, le caractère non empirique des déterminations numériques de Galilée.

(3) Du fait d'être plongé dans l'air, le plomb perdra une dix millième partie de son poids, l'ébène une millième ; le poids effectif du premier sera donc 10 000 — 1 = 9 999, celui du second 1 000 — 10 = 990 ou, dans les deux cas, égal à l'excès du poids du corps sur celui du milieu (P — R).

Sans aucun doute : le calcul galiléen s'accorderait avec l'expérience bien mieux que celui d'Aristote. A condition, toutefois, qu'on en fasse et qu'aux nombres ronds — mille, dix mille — de Salviati on substitue des nombres réels, exprimant des rapports réels, effectivement mesurés, entre les poids spécifiques (1) des substances diverses tombant dans le même milieu. Expériences et mesures que Galilée, de toute évidence, n'a pas — et ne prétend même pas avoir — faites. Nous sommes encore, et toujours, dans le domaine des expériences imaginées.

Ce sont également des expériences imaginées qui nous permettront de déterminer les rapports de vitesse entre les corps tombant dans des milieux différents, et ce non pas

en comparant les résistances diverses des milieux, mais en considérant les excès des gravités des mobiles sur la gravité des milieux (2). Ainsi, par exemple, l'étain est mille fois plus lourd que l'air, et dix fois [plus lourd] que l'eau. Aussi, si l'on divise la vitesse absolue [*i. e.*, dans le vide] de l'étain en mille parties, se mouvra-t-il dans l'air, qui en soustrait une millième partie, avec neuf cent quatre-vingt-dix-neuf degrés [de vitesse], mais dans l'eau avec neuf cents seulement, vu que l'eau diminue sa gravité d'une dixième partie, et l'air d'une millième seulement. Et si nous prenions un solide un peu plus lourd que l'eau, tel par exemple, que le bois du chêne, une balle d'icelui, pesant, mettons 1 000 drachmes, tandis qu'un volume égal d'eau en pèse neuf cent cinquante, et d'air, deux, il est clair que si sa [de la balle de chêne] vitesse absolue était de mille degrés, elle serait, dans l'air, de neuf cent quatre-vingt-huit (degrés), mais dans l'eau de cinquante seulement, vu que l'eau, des mille degrés de gravité en supprime neuf cent cinquante et ne lui en laisse que cinquante. Un tel solide, donc, se mouvrait presque vingt fois plus rapidement dans l'air que dans l'eau, étant donné que l'excès de sa gravité sur celle de l'eau est une vingtième partie de la sienne propre. Or, il nous faut remarquer ici que ne pourront descendre dans l'eau que les matières dont la gravité [spécifique] est plus grande [que celle de l'eau], et qui, par conséquent, sont plusieurs centaines de fois plus lourdes que l'air. Aussi, pour rechercher la proportion de leurs vitesses dans l'eau et dans l'air, nous pouvons, sans erreur notable, admettre que l'air ne soustrait rien du moment de la gravité absolue et, en conséquence, de la vitesse absolue, de tels corps. Aussi, ayant trouvé l'excès de leur gravité sur la gravité de l'eau, nous dirons que leur vitesse dans l'air aura, par rapport à leur vitesse dans l'eau, la même proportion que leur gravité totale a

(1) Galilée *ne dit pas :* poids spécifiques, ainsi que M. M. Crew et Salvio, dans leur traduction des *Discorsi* (*Dialogues Concerning Two New Sciences by Galileo Galilei*, translated from the Italian and Latin into English by M. Crew and A. de Salvio, Evanston and Chicago, 1939), le lui font dire, mais le sens est clair.

(2) *Discorsi*, p. 120.

à l'excès de cette gravité sur celle de l'eau. Par exemple, une balle d'ivoire pèse 20 onces, et un volume égal d'eau en pèse 17 ; donc, la vitesse de l'ivoire dans l'air sera, à sa vitesse dans l'eau, comme 20 à 3.

***

Le raisonnement « hydrostatique » de Galilée suit, et même très fidèlement, celui de Benedetti. Il ne s'en distingue, en fait, que par la forme dialoguée, l'élégance du style, le nombre et la variété des exemples : car si Benedetti, dans sa discussion du problème de la vitesse de la chute dans le vide et dans un milieu résistant, parle presque toujours de gravité spécifique, et Galilée, presque toujours, de gravité tout court, ses exemples impliquent le plus souvent une référence à la gravité spécifique et ce d'une manière telle que le lecteur ne peut pas se tromper. Or, en suivant la même route, en se servant du même schéma — archimédien — dans leurs raisonnements, Benedetti et Galilée arrivent à des conclusions sensiblement différentes : tandis que le premier, ainsi que je l'ai déjà dit, affirme que les corps grands et petits, lourds et légers, mais de même matière ou *gravité spécifique* tombent avec la même vitesse, et que les corps de gravités spécifiques différentes tombent avec des vitesses différentes non seulement dans le plein, mais aussi dans le vide, Galilée maintient que leur vitesse, dans le vide, est la même. Comment expliquer cette divergence ? S'agit-il d'une simple erreur du premier ? Ou est-ce autre chose ?

Commençons par citer Benedetti (1) :

La proportion des mouvements [vitesses] des corps semblables [par leurs poids], mais d'homogénéités [matières] différentes, se mouvant dans le même milieu et à travers le même espace, est [celle] qui se trouve entre les excès (notamment de leurs poids ou de leurs légèretés) par rapport au milieu... Et *vice versa*... la proportion qui se trouve entre les susdits excès par rapport aux milieux, est la même que celle [qui se trouve entre] leurs mouvements.

Posons un milieu uniforme *bfg*. (par exemple, de l'eau) dans lequel soient placés deux corps [sphériques] d'homogénéités différentes, c'est-à-dire d'espèces différentes. Admettons que le corps *dec* soit en plomb, et le corps *aui* en bois, et que chacun d'eux soit plus lourd qu'un corps pareil [en grandeur], mais fait d'eau. Admettons que ces corps sphériques

(1) J. B. Benedetti, *Resolutio omnium Euclidis problematum* (Libri, *op. cit.*, pp. 259 sq.) ; cf. pp. 353 sq. de mon article cité p. 203, n. 2. Benedetti accompagne son exposé d'un dessin que j'ai jugé inutile de reproduire ici.

et aqueux soient *m* et *n*... admettons ensuite que le corps aqueux égal au corps *aui* soit *m*, et que [le corps] *n* soit égal au corps *dec* ; [admettons enfin] que le corps *dec* [en plomb] soit huit fois plus lourd que le corps *n*, et le corps *aui* [en bois], deux fois plus lourd que le corps *m* [en eau] (1). Je dis donc que la proportion du mouvement du corps *dec* au mouvement du corps *aui* (dans l'hypothèse admise) est la même que celle qui se trouve entre les excès des poids des corps *dec* et *aui* par rapport aux corps *n* et *m*, c'est-à-dire que le temps dans lequel sera mû le corps *aui* sera le septuple du temps dans lequel [sera mû] le corps *dec*. Car, par la proposition III du livre d'Archimède, *De Insidentibus*, il est clair que, si les corps *aui* et *dec* étaient également graves que les corps *m* et *n*, ils ne se mouvraient d'aucune façon, ni vers le haut, ni vers le bas, et par la proposition VII du même [livre], que les corps plus lourds que le milieu [dans lequel ils sont placés] se portent vers le bas ; en conséquence, les corps *aui* et *dec* se porteront vers le bas, et la résistance de l'humide (c'est-à-dire, de l'eau) au [mouvement] du corps *aui* sera en proportion sous-double, et à celui du corps *dec*, suboctuple ; il s'ensuit que le temps dans lequel le... corps *dec* traversera l'espace donné sera en proportion septuple [sept fois plus long] au temps dans lequel le traversera... le corps *aui*... Ce pourquoi, ainsi qu'on peut le déduire du livre susnommé d'Archimède, la proportion du mouvement au mouvement n'est pas conforme à la proportion des gravités *aui* et *dec*, mais à la proportion des excès de la gravité de *aui* sur *m* et de celle de *dec* sur *n*. L'inverse de cette proposition est suffisamment clair de par cette proposition même...

D'où il appert que le mouvement plus rapide n'est pas causé par l'excès de la gravité ou de la légèreté du corps plus rapide par rapport à celle des corps plus lents... mais en vérité, par la différence [de la gravité] spécifique des corps par rapport à la gravité et la légèreté [du milieu].

En somme, si Benedetti admet, avec Aristote, que la « vertu » mouvante du corps descendant est proportionnelle à sa pesanteur, il s'agit pour lui non pas de la pesanteur individuelle du corps en question, mais de sa pesanteur spécifique. De plus, cette pesanteur étant, selon Archimède, diminuée par l'action du milieu dans lequel il est plongé, ce n'est que le poids restant, « l'excès » du poids spécifique du corps sur le poids spécifique du milieu, qui entre en ligne de compte, et ce sont les rapports de ces excès différents de corps spécifiquement différents qui déterminent les rapports de leurs vitesses. Ainsi, le poids du corps descendant dans un milieu donné doit être diminué de, et non pas divisé par, la résistance du milieu ; c'est-à-dire diminué du poids d'un volume égal de ce milieu (2). La vitesse sera donc P — R et non P : R,

(1) Du bois deux fois plus lourd que l'eau ! Benedetti va fort !
(2) Rapport arithmétique et non géométrique.

et les vitesses de corps différents, dans le même milieu, seront dans le rapport des excès de leurs poids sur celui du milieu $V_1 : V_2 = (P_1 - R) : (P_2 - R)$ (1). Exactement comme Galilée nous l'a expliqué.

Benedetti a donc de bonnes raisons de remarquer que sa conception « n'est pas conforme à la doctrine d'Aristote ». En a-t-il autant d'ajouter qu'elle ne l'est pas, non plus, à celle « d'aucun de ses commentateurs qu'il a eu l'occasion de voir ou de lire ; ou avec lesquels il a pu s'entretenir » ? — Nous n'avons, certes, aucune raison de le soupçonner de manquer de véracité. Et, au surplus, sa théorie, dans son intégrité, ne se rencontre, en effet, chez aucun des commentateurs du Stagirite. Il n'en reste pas moins que l'on trouve des choses assez analogues, concernant justement la doctrine de la chute, chez Jean Philopon, et notamment dans son *Commentaire de la physique d'Aristote*, qui lui était facilement accessible (2). D'ailleurs, certains de ses commentateurs médiévaux, en soumettant sa dynamique à une critique fort pénétrante, ont conclu à la nécessité de faire dépendre la vitesse d'un corps, non pas du rapport F : R de la puissance à la résistance, mais de l'excès de la première sur la seconde (3). Il est vrai, cependant, que Jean Philopon ne se rapporte pas à Archimède ; et que les médiévaux n'appliquent pas leur conception au mouvement de la chute.

Trente ans plus tard, dans son recueil des *Diverses spéculations mathématiques et physiques* (4), Benedetti revient à la question et nous dit que

chaque fois que deux corps auront affaire à une même résistance, leurs mouvements seront proportionnels à leurs vertus mouvantes ; et, inver-

(1) Plus exactement, en désignant par P_c le poids du corps et par P_m, celui du milieu, $V_c = P_c - P_m$ et $V^1_c : V^2_c = (P^1_c - P_m) : (P^2_c - P_m)$.

(2) Le *Commentaire* de Jean Philopon, imprimé pour la première fois à Venise, en 1535 (en grec), le fut en latin en 1539, en 1546, en 1550, en 1554, en 1558, et en 1569. Il est d'ailleurs cité par Galilée dans son *De Motu*, p. 284 (au sujet du mouvement dans le vide ; cf. plus loin, p. 228) : « Tanta est veritatis vis ut doctissimi etiam viri et Peripatetici huius sententiae Aristotelis falsitatem cognoverunt, quamvis eorum nullus commode Aristotelis argumenta diluere potuerit... Scotus, D. Thomas, Philoponus... »

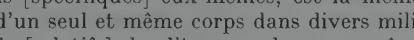
(3) Cf. *supra*, p. 208, n. 3.

(4) *Diversarum Speculationum Mathematicarum et Physicarum Liber* (Taurini, 1585), pp. 168 sq. En analysant les vitesses des corps descendants, Benedetti ne tient compte que des forces mouvantes puisqu'il s'agit d'un mouvement naturel auquel le corps n'oppose aucune résistance propre. Il n'en est pas de même lorsqu'il s'agit de mouvements violents : dans ceux-ci, à la résistance externe du milieu s'ajoute la résistance interne du corps au mouvement (celle *g.e.* du poids à l'élévation, ou même au transport latéral).

sement, chaque fois que deux corps auront une seule et même gravité ou légèreté, et des résistances diverses, leurs mouvements auront, entre eux, la proportion inverse de ces résistances.

Attention cependant : ne prenons pas cela dans le sens d'Aristote. En effet,

le mouvement naturel d'un corps grave dans divers milieux est proportionnel au poids [relatif] de ce corps dans les mêmes milieux. Par exemple, si le poids total d'un certain corps était représenté par *a.i*, et si ce corps était placé dans un milieu moins dense que lui-même (car, s'il était placé dans un milieu plus dense, il ne serait pas lourd, mais léger, ainsi que l'a montré Archimède), ce milieu en soustrairait la partie *e.i.*, de telle façon que la partie *a.e* agirait seule ; et si ce corps était placé dans quelque autre milieu, plus dense, mais cependant moins dense que le corps lui-même, ce milieu en soustrairait la partie *u.i* du dit poids, et en laisserait libre la partie *a.u*.



Je dis que la proportion de la vitesse d'un corps dans un milieu moins dense à la vitesse du même corps dans le milieu plus dense, sera comme *a.e* est à *a.u*, ce qui est bien plus conforme à la raison que si nous disions que ces vitesses seront comme *u.i* à *e.i*, puisque les vitesses se proportionnent seulement aux forces mouvantes... Et ce que nous disons maintenant est évidemment conforme à ce que nous avons écrit plus haut, car dire que la proportion des vitesses de deux corps hétérogènes [de poids spécifiques différents]... dans le même milieu est égale à la proportion de ces poids [spécifiques] eux-mêmes, est la même chose que dire que les vitesses d'un seul et même corps dans divers milieux sont en proportion des poids [relatifs] du dit corps dans ces mêmes milieux.

Tout cela n'est pas conforme à la doctrine d'Aristote. Mais c'est Aristote qui a tort ; en admettant notamment que la gravité et la légèreté sont des qualités opposées et propres du corps. En fait, il n'en est rien : tous les corps sont graves ; plus ou moins ; leurs qualités primaires consistent dans leur densité ou leur rareté ; les corps légers ne sont que des corps moins graves placés dans un milieu qui l'est plus, ou plus exactement, des corps plus « rares » placés dans des milieux plus denses (1). Or, nous pouvons, par la pensée du moins, faire varier la densité, ou la rareté, du milieu, et transformer ainsi un corps lourd (relativement au milieu) dans un léger, et inversement. Nous pouvons aussi, en modifiant la densité du milieu, modifier également la vitesse de

(1) *Ibid.*, p. 174 sq., et *supra*, p. 216, n. 2.

la chute d'un corps donné dans des milieux divers. Nous pouvons, notamment, en rendant le milieu plus ténu, l'augmenter. Jamais, cependant, même dans le vide, en effet, elle ne deviendra infinie — ce qui rend caduque l'objection aristotélicienne contre le mouvement dans le vide : au contraire, c'est dans le vide que les corps, de poids spécifiques différents, tomberont avec les vitesses différentes, vitesses qui leur sont propres. En effet,

> dans le plein, la proportion des résistances extérieures se soustrait de la proportion des poids, et ce qui reste détermine la proportion des vitesses, qui seraient nulles, si la proportion des résistances était égale à la proportion des poids (1) ; de ce fait, ils [les poids] auront dans le vide des vitesses autres que dans le plein ; à savoir, les vitesses des corps différents (c'est-à-dire des corps composés de matières différentes) seront proportionnelles à leurs poids spécifiques absolus.

En revanche, dans le vide, les corps composés de la même matière auront la même vitesse, qu'ils soient grands ou petits : un boulet de canon ne tombera pas plus vite qu'une balle de mousquet.

***

Le raisonnement de Benedetti paraît impeccable, et donc la conclusion à laquelle il arrive — nous les retrouverons, d'ailleurs, chez le jeune Galilée. En effet, si le milieu « enlève » du poids, et donc de la vitesse, aux corps qui se meuvent à travers lui ; si, au surplus, à des corps de mêmes dimensions mais de natures, c'est-à-dire de poids spécifiques, différentes, il en enlève un pourcentage différent — bien que la quantité absolue du poids « enlevé » soit la même —, et que les vitesses différentes avec lesquelles ils tombent de ce fait dans le même milieu soient ainsi proportionnelles aux *excès* différents des poids différents sur celui de ce dernier ($V_1 = P_1 - R$ et $V_2 = P_2 - R$), ne s'ensuit-il pas qu'en supprimant l'action du milieu, c'est-à-dire en plaçant les corps dans le vide, nous ajoutons à leurs poids et vitesses une quantité identique et obtenons, en conséquence, des résultats différents ? C'est justement ce que nous dit le jeune Galilée dans son *De Motu* ; notamment (2)

> que le même mobile, descendant dans divers milieux, suit, en ce qui concerne la vitesse de ses mouvements la même proportion qu'ont entre

(1) C'est-à-dire si les forces mouvantes étaient égales aux résistances.
(2) Cf. *De Motu*, pp. 272 sq.

eux les *excès* dont sa gravité surpasse celles des milieux ; ainsi, si la gravité du mobile était 8, et la gravité d'un volume égal du milieu était 6, sa vitesse serait comme 2 ; et si la gravité d'un volume égal d'un autre milieu était 4, sa vitesse dans celui-ci serait comme 4. Il en résulte que ces vitesses seront entre elles comme 2 et 4 ; et non comme les épaisseurs, ou les gravités, des milieux, ainsi que le voulait Aristote. Pareillement évidente sera aussi la réponse à une autre question : quelle est la proportion que suivront, en ce qui concerne leurs vitesses, des mobiles, égaux en volume, mais inégaux en poids, [en se mouvant] dans le même milieu ? — Les vitesses de ces mobiles seront entre elles comme les excès dont les gravités des mobiles surpassent celle du milieu ; ainsi, par exemple : soient deux mobiles égaux en volume, mais inégaux en gravité, la gravité de l'un serait 8, et [celle] de l'autre 6, tandis que la gravité d'un volume égal du milieu serait 4 : la vitesse de l'un sera 4, et [celle] de l'autre, 2. Ces vitesses suivront donc la proportion qui est entre 2 et 4, et non celle qui se trouve entre les gravités, à savoir celle de 8 à 6.

Galilée ajoute que la conception qu'il a développée permet de calculer les rapports des vitesses des corps différents descendant — ou remontant — dans divers milieux et conclut (1) :

> Telles sont donc les règles universelles des proportions des mouvements des mobiles, qu'ils soient de la même espèce ou qu'ils ne soient pas de la même espèce, dans le même milieu, ou dans des milieux différents, [se mouvant] vers le bas ou vers le haut.

Galilée nous avertit, toutefois, que l'expérience ne vérifie aucunement ces règles : les corps légers tombent beaucoup plus vite qu'ils ne devraient — ils tombent même, au début du mouvement, plus vite que les lourds — ce qui, d'ailleurs, en nous imposant le devoir d'expliquer la non-concordance des faits observés avec la théorie, n'implique nullement la fausseté de celle-ci : les déviations impliquent la présence, et l'action, d'un facteur supplémentaire... (2).

Les « règles » de Galilée — ce sont, on le voit bien, celles de Benedetti — impliquent pour lui, comme pour ce dernier, la possibilité du mouvement dans le vide : les corps, dans le vide,

(1) *Ibid.*, p. 273.

(2) *De Motu*, p. 273 : « Sed animavertendum est quod magna hic oritur difficultas : quod proportiones istae, ab eo qui periculum fecerit, non observari comperientur. Si enim duo diversa mobilia accipiet quae tales habeant conditiones ut alterum altero duplo citius feratur, et ex turri dimittat, non certe velocius, duplo citius, terram pertinget : quin etiam sin observetur, id quod levius est, in principio motus praeibit gravius et velocius erit. Quae quidem diversitates et, quodammo prodigia, unde accidant (per accidens enim haec sunt) non est hic locus inquirendi. Videndum enim prius est, cur motus naturalis tardius sit in principio. »

tomberont avec des vitesses finies ; et des vitesses différentes. L'erreur d'Aristote a été de ne pas avoir compris que gravité et légèreté ne sont pas des qualités dernières, mais seulement des propriétés relatives des corps, qui expriment les rapports entre leurs densités propres et celles des milieux où ils se trouvent ; elle a été, surtout, d'avoir présenté le rapport entre la puissance et la résistance comme une proportion géométrique, et non comme une proportion arithmétique. C'est par là qu'il a été amené à conclure que, dans le vide, la vitesse serait infinie (1).

Car, dans les proportions géométriques, il est nécessaire que la quantité plus petite puisse être multipliée tant de fois qu'elle excède toute grandeur donnée. Il faut, donc, que la dite quantité soit quelque chose, et non pas rien ; en effet, le rien multiplié par lui-même n'excède aucune quantité. Mais ceci n'est pas nécessaire dans les proportions arithmétiques : dans celles-ci un nombre peut avoir, avec un autre nombre, la même proportion que le nombre au néant... Ainsi 20 est à 12, comme 8 à 0. C'est pourquoi, si comme le voulait Aristote, les mouvements étaient entre eux dans la même proportion géométrique que la subtilité [d'un milieu] à la subtilité [d'un autre], il aurait raison de conclure que, dans le vide, il ne peut pas y avoir de mouvement dans le temps ; en effet, le temps [du mouvement] dans le plein au temps dans le vide ne peut pas avoir [la même] proportion que la subtilité du plein à la subtilité du vide, puisque la subtilité du vide est néant. Mais si la proportion des célérités était non point géométrique mais arithmétique, il n'en résulterait rien d'absurde.

C'est ce qui est effectivement le cas (2).

C'est pourquoi, dans le vide, le mobile se mouvra de la même façon que dans le plein. Or, dans le plein, le mobile se meut selon la proportion de l'excès de sa gravité sur la gravité du milieu dans lequel il se meut, et, pareillement, dans le vide, selon l'excès de sa gravité sur la gravité du vide ; et comme celle-ci est néant, l'excès de la gravité du mobile sur la gravité du vide sera [égal à] sa gravité totale ; aussi se mouvra-t-il plus rapidement [que dans le plein], en proportion de sa gravité totale. En effet, dans aucun plein ne pourra-t-il se mouvoir aussi rapidement, vu que l'excès de la gravité du mobile sur la gravité du milieu sera plus petit que la gravité totale du mobile ; aussi sa vitesse sera-t-elle également plus petite...

Les vitesses des mobiles dans le vide ne seront donc ni infinies — ce qui serait absurde — ni égales. Elles seront, au contraire,

(1) *Ibid.*, pp. 278 sq.
(2) *Ibid.*, p. 281.

conformes à leurs gravités spécifiques : un corps dont la gravité spécifique est comme 8 tombera avec 8 degrés de vitesse, et celui dont la gravité spécifique est comme 4, avec 4. En revanche, les corps de gravité spécifique pareille tomberont en même temps (1).

***

Je pense qu'il est inutile d'insister : le jeune Galilée, on le voit bien, avait épousé, dans tous ces détails, la doctrine de Jean-Baptiste Benedetti (2). Elle n'est, d'ailleurs, nullement absurde. Supposons, en effet, que la gravité soit causée par une attraction terrestre, du genre de l'attraction magnétique (ou, simplement, l'attraction des « semblables » entre eux). Il n'y aurait, alors, rien de surprenant à ce que certains d'entre les corps soient attirés par la terre plus fortement que les autres — ce qui les rendrait plus « lourds » — et qu'ils tombent, de ce fait, avec des vitesses différentes, tout en opposant la même résistance interne au mouvement. Nous dirions, alors, que la masse inerte d'un corps et sa masse gravifique ne sont pas égales (3). On m'objectera, sans doute, que, pas plus que Galilée, Benedetti n'explique la gravité par l'attraction, mais la considère comme une propriété naturelle des corps, liée, ou même identique à leur densité ; ce qui est parfaitement exact. Aussi n'ai-je pas attribué à Benedetti une théorie attractionnelle de la gravitation : je l'ai seulement proposée comme un exemple, pour démontrer qu'il n'était pas absolument nécessaire que les corps tombent, dans le vide, avec la même vitesse ; et qu'ils pourraient bien le faire avec des vitesses différentes (4). On pourrait ajouter, en outre, que Benedetti ignorait la notion de masse inerte, ainsi que celle de résistance interne des corps à l'accélération et même, dans le mouvement « naturel », de *résistance au mouvement*, et que, de ce fait, il ne pouvait ni distinguer la première de la masse gravifique ni, non plus, l'identifier à elle. Ce qui, encore une fois, est exact ; et c'est cela, justement, qui explique pourquoi, en faisant un raisonnement apparemment

(1) *Ibid.*, p. 283.

(2) Galilée, sans doute, ne le cite pas ; mais la filiation est patente.

(3) Cf. *supra*, p. 220, n. 1.

(4) Benedetti, qui « expliquait » l'accélération du mouvement de la chute par l'engendrement successif, par le grave, de nouveaux *impelus*, pouvait bien admettre que les corps de gravité spécifique plus grande (plus denses) engendraient des *impelus* plus forts.

identique à celui de Benedetti, et à celui qu'il avait fait lui-même dans le *De Motu*, le Galilée des *Discours* (et déjà du *Dialogue*) a pu arriver à une conclusion entièrement différente. En effet, si l'on ne pose pas, dans le corps descendant, de résistance *interne* opposée à la force qui agit sur lui (1), si — comme Aristote — on ne tient compte que des résistances externes, et qu'on admet la proportionnalité simple des *vitesses aux forces mouvantes*, c'est de la variation de force motrice seule que l'on doit s'occuper. Le raisonnement arithmétique prend, alors, toute sa valeur. La conception de Benedetti, et du jeune Galilée, s'impose alors, nécessairement.

Si, au contraire — ainsi que le fait Galilée dans le passage que j'ai cité plus haut — on pose, ne serait-ce qu'implicitement, une résistance interne du corps descendant, c'est-à-dire se mouvant d'un mouvement naturel, à son changement d'état, *i.e.*, à l'accélération, si, au surplus, on la pose comme étant proportionnelle à sa masse, c'est-à-dire à son poids absolu, on en arrive immédiatement, en transférant à la résistance *interne* le rapport de proportionnalité *géométrique* qu'Aristote avait posé pour la résistance *extérieure*, à la thèse de la chute simultanée des graves dans le vide (2). En outre, la ré-introduction, dans le schéma dynamique, de la proportionnalité *géométrique* ne s'arrêtera pas là ; lorsqu'on étudiera, en effet, la chute des corps, non plus dans le vide, mais dans des milieux résistants, c'est-à-dire, lorsqu'on étudiera l'action, et le rôle, de la résistance extérieure, on ne se bornera pas à constater qu'elle se traduit par une diminution *arithmétique* de la force motrice ; plus exactement, on n'en conclura pas à une diminution, *arithmétique* également, et donc pareille pour tous les corps, de la vitesse de leur mouvement descendant : on évaluera cette diminution de la force motrice dans son rapport à la résistance interne demeurée inchangée, et c'est par ce rapport — géométrique — que l'on déterminera la vitesse résultante ; ou, ce qui est la même chose, on la déterminera en fonction du rapport du poids du corps en question, diminué de celui du milieu, à son poids absolu ; ou, ce qui est encore la même chose, par le rapport

(1) Dans le mouvement naturel cette « force » est consubstantielle au corps. Il n'en est pas de même dans les mouvements violents : aussi les corps opposent-ils une résistance interne à la force — au moteur — qui agit sur eux du dehors.

(2) La force motrice et la résistance interne étant toutes deux proportionnelles au poids (absolu) du corps, leur rapport, c'est-à-dire, l'accélération, est constant. Il en résulte que g est une constante universelle.

de sa force motrice dans le milieu à sa force motrice absolue (dans le vide) ; ou, en modernisant, par le rapport du poids effectif (dans le milieu) à sa masse inertiale (1). Aussi retrouvera-t-on, au terme de la série infinie des résistances continuellement décroissantes, opposées aux mouvements des corps descendants par des milieux de plus en plus rares — dans le vide — une vitesse identique, et non plus des vitesses différentes. Mais on ne la retrouvera que parce qu'on en était parti.

* * *

L'assertion galiléenne de la chute simultanée des corps graves, telle que nous l'ont, jusqu'ici, présentée les *Discorsi*, ne repose, on s'en est bien rendu compte, que sur des raisonnements *a priori*, et des expériences imaginaires (2). Jamais, jusqu'ici, nous n'avons été mis en présence d'une expérience réelle ; et aucune des données numériques, que Galilée avait invoquées, n'exprimait des mesures effectivement exécutées. Je ne lui en fais pas, bien entendu, reproche ; j'aimerais, tout au contraire, revendiquer pour lui la gloire et le mérite d'avoir su se passer d'expériences (nullement indispensables, ainsi que le démontre le fait même d'avoir pu s'en dispenser), et pratiquement irréalisables avec les moyens expérimentaux à sa disposition. Comment, en effet, réaliser une chute dans le vide avant l'invention des pompes pneumatiques (3) ? Et, quant aux expériences dans le plein, comment mesurer *exactement* l'avance, ou le retard, insignifiants, des corps lancés du haut de quelque tour, avant l'invention d'horloges précises (4) ?

(1) La vitesse d'un corps de poids spécifique donné dans un milieu donné sera donc déterminée par le rapport (poids du corps — poids du milieu) : poids du corps ; ou par le rapport de l'excès de la puissance sur la résistance extérieure à la résistance intérieure $(P - \frac{1}{n}P) : P = (n - 1) : n$ ou $(F - R_{ext.}) : R_{int.}$, cf. *supra*, p. 220, n. 1.

(2) Galilée a-t-il abandonné la conception — benedettienne — du *De Motu*, parce qu'il s'était aperçu qu'elle ne cadrait pas beaucoup mieux avec l'expérience que celle d'Aristote? Cela se peut, et le texte que j'ai cité plus haut (p. 227, n. 2) semble l'indiquer. Il est clair, d'autre part, que la découverte de la conservation du mouvement et la substitution, comme effet propre et premier de la force motrice, de l'accélération au mouvement (principe d'inertie), ne pouvait pas ne pas le forcer à le faire.

(3) Et même après. Aussi, pour en faire une expérience réelle, a-t-il fallu attendre un siècle, et c'est à Atwood qu'on la doit.

(4) C'est une horloge humaine que J. B. Riccioli a utilisée pour les siennes ; cf. mon « Experiment in Measurement », cité p. 201, n. 1.

Comment, en outre — et ce malgré les méthodes ingénieuses qu'il nous expose (1) — faire une mesure exacte du poids, ou de la densité, de l'air ? Car, si elles n'avaient pas été *exactes* — Galilée le sait aussi bien, ou bien mieux, que quiconque — elles n'auraient eu que très peu de valeur, ou même n'en auraient pas eu du tout.

Il ne s'agit pas, bien entendu, de négliger, ou de minimiser, le rôle de l'expérience. Il est clair que l'expérience seule peut nous fournir les données numériques sans lesquelles notre connaissance de la nature reste incomplète et imparfaite. Il est certain aussi — Galilée s'est expliqué là-dessus avec une clarté suffisante — que c'est l'expérience seule qui peut nous révéler lesquels des moyens multiples, tous aptes à produire un certain effet, sont effectivement choisis par elle dans un cas donné (2). Et même lorsqu'il s'agit de lois fondamentales de la nature — telle celle de la chute — où le raisonnement pur suffit en principe, c'est l'expérience seule qui peut nous assurer que d'autres facteurs, non prévus par nous, ne viennent pas entraver leur application et que les choses se passent dans la réalité sensible, *in hoc vero aere*, à peu près comme elles se passeraient dans le monde archimédien de la géométrie réifiée sur lequel portent nos déductions. En outre, d'un point de vue que nous pourrions appeler pédagogique, rien ne remplace l'expérience : c'est elle qui nous a montré l'inadéquation de la doctrine aristotélicienne à la réalité et, autant que ses contradictions internes, a convaincu Simplicio de sa fausseté. Et la doctrine galiléenne de la chute simultanée des graves est tellement nouvelle et, à première vue, tellement contraire aux faits et au bon sens, que seule une confirmation expérimentale pourrait la rendre acceptable. Sans doute, pour les esprits éclairés et libres de préjugés — représentés par Sagredo — les arguments et les « expériences » déjà allégués par Galilée sont suffisants. Mais pour les autres ? Pour les autres, il faut autre chose, à savoir une expérience réelle.

Aussi ne sommes-nous pas trop étonnés de voir Galilée rechercher une preuve expérimentale de sa doctrine, et l'on ne peut qu'admirer l'ingéniosité suprême avec laquelle, dans l'impossibilité

(1) Ainsi (cf. *Discorsi*, pp. 121 sq.) peser l'air en forçant un volume déterminé d'air dans une outre déjà pleine de celui-ci ; le surplus du poids correspond au surplus d'air.

(2) L'exemple de la cigale du *Saggiatore* est demeuré classique. Le recours à l'expérience est fondé dans la richesse même du mathématisme de la science classique : à ce sujet, Descartes ne dit pas autre chose que Galilée ; cf. mon « Galilée et Descartes », *Congrès international de Philosophie (Congrès Descartes)*, Paris, 1937.

de procéder à une expérience directe, il trouve dans la nature un phénomène qui, bien interprété, et — avouons-le à sa place — un peu « corrigé », pourrait lui servir de confirmation indirecte. Ce phénomène, c'est le mouvement pendulaire, dont il avait découvert, ou cru avoir découvert, l'isochronisme (1).

Salviati. — L'expérience, faite avec deux corps, de poids aussi différents que possible, que l'on ferait tomber de la même hauteur pour observer si leur vitesse sera égale, présente quelque difficulté. Car, si la hauteur est considérable, le milieu qui doit être pénétré et écarté latéralement par l'*impetus* du corps descendant sera un empêchement beaucoup plus grand pour le petit *impetus* du corps plus léger que pour la violence du plus lourd ; aussi, sur une grande distance, le [corps] léger restera-t-il en arrière ; et [si la chute a lieu] d'une altitude petite, on pourra douter qu'il y avait vraiment une différence ; car, s'il y en a une, elle sera inobservable. Aussi me suis-je mis à penser [au moyen] de répéter plusieurs fois la chute d'une hauteur petite, et de joindre [lire : accumuler] ensemble les très petites différences de temps qui pourraient se trouver entre l'arrivée au but du [corps] grave et celle du léger, différences qui, additionnées, feraient un temps non seulement observable, mais même facilement observable. En outre, pour pouvoir me servir de mouvements aussi lents que possible, dans lesquels la résistance du milieu ne modifie que très peu l'effet dépendant de la simple gravité, j'eus l'idée de faire descendre les mobiles sur un plan incliné, très peu élevé sur le plan horizontal. Car on peut établir ce que font les corps de poids différents par le mouvement sur le plan incliné, non moins bien que par [la chute] verticale (2) et, poussant plus avant, j'ai voulu aussi me libérer de la résistance qui pourrait naître du contact des mobiles en question avec le dit plan incliné. Finalement donc, j'ai pris deux balles, l'une de plomb et l'autre de liège, celle-ci bien plus de cent fois plus lourde que celle-là, et j'ai attaché chacune d'elles à deux fils fins égaux, longs de 4 ou 5 brasses, fixés dans le haut (3). Puis, ayant écarté l'une et l'autre balle de la perpendiculaire, je les ai laissées aller au même instant ; ces balles. descendant par les circonférences des cercles décrits par les fils égaux, leurs semi-diamètres, ayant passé au delà de la verticale, retournèrent en arrière par la même voie ; et, répétant bien plus de cent

(1) *Discorsi*, pp. 128 sq. L'isochronisme du pendule semble être généralement admis au début du XVII^e siècle ; Baliani l'érige même en principe. Ce qui distingue Galilée, c'est d'en avoir tenté une démonstration. Sur Baliani, cf. S. Moscovici, Sur l'incertitude des rapports entre expérience et théorie au XVII^e siècle, *Physis*, 1960.

(2) La substitution du mouvement sur le plan incliné à la chute libre est un des titres de gloire de Galilée et c'est par des expériences sur le plan incliné qu'il avait contrôlé la validité de sa loi de la chute ; cf. là-dessus mes *Études galiléennes*, II, et mon « Experiment in Measurement ».

(3) *Discorsi*, p. 128 : « ... ciascheduna di loro ho attaccata a due sottili spaghetti eguali » : il s'agit ainsi d'un pendule bifilaire, dont l'invention, habituellement attribuée à l'*Accademia del Cimento*, doit donc être restituée à Galilée.

fois leurs allers et retours, elles rendirent perceptible au sens [le fait] que la balle lourde observe si bien le temps de la légère que, ni en cent vibrations, ni même en mille (1), elle n'est en avance sur celle-ci, même d'un instant minime, si bien qu'elles marcheront d'un pas parfaitement égal. On perçoit, en même temps, l'action du milieu qui, opposant quelque résistance au mouvement, diminue bien davantage les vibrations du liège que celles du plomb, mais ne les rend pas, par là, plus ou moins fréquentes ; au contraire, lors même que les arcs décrits par le liège n'étaient plus que de cinq ou six degrés, et ceux [qui l'étaient] par le plomb, de cinquante ou soixante, ils étaient décrits dans le même temps.

Simplicio, non sans raison apparente, se trouve un peu désarçonné par cette démonstration d'allure paradoxale : comment, en effet, peut-on dire que les deux balles se meuvent avec la même vitesse lorsque, dans les mêmes temps, l'une décrit un arc de cinq degrés et l'autre, de soixante ? N'est-il pas clair que la balle de plomb va beaucoup plus vite ? Sans doute. Mais cette vitesse plus grande n'a rien à voir avec la pesanteur de la balle, du moins pas directement ; elle est fonction de la hauteur dont elle descend ; la preuve, c'est qu'on peut intervertir les rôles, c'est-à-dire, faire décrire à la balle de liège un arc de 50 degrés et à la balle de plomb, un de 5 : elles le feront dans le même temps, comme elles décriront dans le même temps des arcs égaux — qu'ils soient de cinq, ou de cinquante degrés — le long desquels on les fera descendre. Aussi Salviati répond-il (2) :

Mais que diriez-vous, Sign. Simplicio, si elles faisaient leur chemin dans le même temps, lorsque le liège, éloigné de la perpendiculaire de trente degrés, doit décrire un arc de soixante degrés (3), et le plomb, écarté du même point du milieu de deux degrés seulement, un arc de quatre ? Est-ce que le liège n'est pas, alors, d'autant plus rapide ? Et pourtant l'expérience montre que c'est ce qui arrive. Mais notez ceci : si l'on écarte le pendule de plomb [d'un angle quelconque], mettons de cinquante degrés, de la perpendiculaire et qu'on le laisse là, en liberté, il descendra et, passant outre la perpendiculaire d'à peu près cinquante autres degrés, décrira un arc de presque cent degrés ; retournant en arrière, il décrira un autre arc, un peu plus petit, et, continuant ses vibrations, il reviendra au repos après en [avoir accompli] un grand nombre. Chacune de ces vibrations se fait dans un temps égal, aussi bien celle de quatre-vingt-dix degrés que celle de cinquante, de vingt,

(1) On peut se demander si Galilée a vraiment observé *mille* oscillations de son pendule.

(2) *Discorsi*, p. 129.

(3) L'arc total de l'oscillation.

de dix et de quatre ; aussi la vitesse du mobile s'affaiblit-elle toujours, puisque, dans des temps égaux, il décrit successivement des arcs toujours plus petits. Un liège, suspendu à un fil de même longueur, fait quelque chose de semblable, et même d'identique, sauf qu'il revient au repos après un nombre de vibrations plus petit, étant moins apte, à cause de sa légèreté, à surmonter la résistance (l'obstacle) de l'air (1) ; et, néanmoins, toutes ses vibrations, grandes et petites, se font dans des temps égaux entre eux, et égaux aussi aux temps des vibrations du plomb. Il est donc vrai que, lorsque le plomb traverse un arc de cinquante degrés et le liège n'en passe qu'un de dix, le liège est plus lent que le plomb ; mais il arrivera aussi, inversement, que le liège décrira un arc de cinquante [degrés] pendant que le plomb en décrira un de dix, ou de six ; ainsi, dans des temps divers, c'est le plomb, ou le liège, qui sera le plus rapide. Mais si les mêmes mobiles, dans les mêmes temps égaux, décrivent aussi des arcs égaux, on pourra dire, avec assurance, que leurs vitesses sont égales.

La démonstration est achevée (2) ; la loi de la chute simultanée des graves est établie ; les déviations observées dans la réalité sensible s'expliquent facilement par la résistance de l'air, plus grande pour les mouvements plus rapides, et plus facilement surmontée par les corps lourds que par les légers ; elle dépend aussi, bien entendu — ce que l'on a toujours su — de la forme

(1) Dans la *giornata quarta* des *Discorsi* (cf. p. 277), Galilée affirmera, curieusement, que le nombre des vibrations de la balle de plomb et de celle du liège, est égal !

(2) La thèse de l'isochronisme du pendule, déjà traitée dans le *Dialogo* dans des contextes différents, en tant que mouvement d'un pendule matériel (*giornata seconda*, p. 257), et en tant que descente sur la circonférence d'un cercle (*giornata quarta*, pp. 474 sq.), nous est présentée ici comme fondée uniquement sur l'expérience. Il en est de même dans la *giornata quarta* des *Discorsi* (pp. 277 sq.) où, aux considérations que je viens de rapporter, Galilée ajoute seulement la réflexion suivante : la résistance de l'air étant proportionnelle à la vitesse du mobile, son action retardatrice sur les mouvements lents et rapides (grandes et petites oscillations) sera la même et, de ce fait, sans effet sur la durée de celles-ci. Mais les *giornata prima* et *quarta* se tiennent à un niveau relativement populaire : aussi sont-elles écrites en italien. La démonstration véritable, c'est-à-dire mathématique, de l'isochronisme, se trouve dans la *giornata terza* ; et elle est en latin. Elle se fonde sur les propositions suivantes (Th. VI, prop. VI, pp. 221 sq.) : 1) Le temps de la descente d'un grave le long du diamètre d'un cercle vertical et le long de toute corde passant par son plus bas point, est le même ; 2) Le temps de descente sur deux cordes successives est moindre que celui de la descente sur une seule. D'où il s'ensuit que la descente le long de la circonférence se fait avec la vitesse *maxima*, et que son temps est toujours le même. On ne peut qu'admirer l'élégance et l'ingéniosité de la démonstration galiléenne, car si — comme il le fut démontré plus tard — la descente par la circonférence n'est pas la plus rapide, et ne se fait pas dans des temps égaux, — c'est la cycloïde qui possède ces privilèges — il n'en reste pas moins vrai que, pour parler le langage du XVIII^e siècle, la courbe « tautochrone » et la courbe « brachistochrone » ne sont qu'une seule et même courbe.

des mobiles, plus ou moins apte à pénétrer et à diviser l'air ambiant (1). Elle dépend enfin de la texture de leur surface, lisse ou rugueuse et, pour ceux qui à tous ces égards sont pareils, de leur volume. La résistance mécanique est, en effet, fonction du rapport de la surface du corps à son poids ; or ce rapport est moindre dans les corps grands que dans les petits, et c'est cela qui explique — question que Sagredo avait posée quelque temps auparavant, et à laquelle il revient maintenant — : pourquoi un boulet de canon tombe-t-il plus vite qu'une balle de mousquet ? Le poids du corps, encore une fois, n'y est pour rien.

*
* *

On pourrait soutenir que l'isochronisme du pendule, sur lequel Galilée insiste si fortement, n'est pas nécessaire à sa démonstration ; et qu'il suffit de constater que les deux boules, de liège et de plomb, parties d'une hauteur égale, arrivent au bas de leur course, *i. e.* à la perpendiculaire, en des temps égaux. Ce qui, sans doute, est juste (2). Mais, pour Galilée, l'isochronisme en question représente non seulement une grande découverte dont il est, à bon droit, très fier, il représente aussi un des cas très rares où la coïncidence de la théorie et de l'expérience est presque parfaite ; il représente, en outre, un moyen : *a)* d'éliminer, dans la mesure du possible, les effets pernicieux des causes secondaires

(1) Grâce à la résistance de l'air, les corps qui tombent sur cette terre ne peuvent pas se conformer entièrement, mais seulement partiellement et approximativement, à la loi mathématique de la chute ; en effet : *a)* par suite de l'action hydrostatique de l'air qui « allège » les corps qui y sont plongés, la masse gravifique n'est pas identique à la masse inertiale : les corps lourds tombent plus vite que les légers ; *b)* la résistance du milieu, croissant avec la vitesse d'accélération, n'est pas constante, mais va en augmentant ; le mouvement descendant n'est donc pas « uniformément » mais « difformément » accéléré, et se transforme, au bout d'un certain temps, en un mouvement uniforme. De ce fait même, il existe, pour chaque milieu, et notamment pour l'air, une vitesse *maxima* que le corps en chute libre ne peut pas dépasser, quelle que soit la hauteur dont il tombe, et quel que soit le temps que dure sa descente. Elle peut, cependant, être dépassée par des moyens artificiels, ainsi par les boulets de nos canons. Aussi Galilée appelle-t-il les vitesses de ces derniers : vitesses *surnaturelles* (cf. *Discorsi*, pp. 275-278).

Il est assez amusant de constater que la physique galiléenne, en substituant l'accélération au mouvement, et en transférant la résistance au changement du dehors au dedans du mobile, se trouve en état d'accepter les conséquences qui, dans la physique aristotélicienne, conduisaient à des absurdités ; (cf. p. 200, n. 3) notamment : *a)* que toute force, si minime soit-elle, appliquée à une résistance (inertiale) si grande soit-elle, produit un mouvement, et *b)* que de l'égalité de la puissance à la résistance résulte un mouvement dont la vitesse est égale, c'est-à-dire, constante.

(2) Plus exactement : serait juste... si elles le faisaient.

(ici, la résistance de l'air) altérant ceux des facteurs primaires que l'on veut étudier, et *b)* de rendre observables, par leur accumulation, les petits effets qui, pris isolément, ne pourraient pas être constatés. Or, c'est là, incontestablement, quelque chose d'une extrême importance, un perfectionnement capital, et qu'il ne serait pas exagéré d'appeler révolutionnaire, de la technique expérimentale, perfectionnement qui dépasse de loin celui que Galilée avait accompli en substituant, à la chute libre, la chute sur le plan incliné. Aussi comprend-on la valeur qu'il lui attribue. Et le désir qu'il a de le mettre en œuvre.

Mais, en fait, cette coïncidence de la théorie et de l'expérience est-elle réelle ? En d'autres termes, l'expérience pouvait-elle démontrer l'isochronisme du pendule ? Ou, du moins, en confirmer la démonstration théorique ? Hélas, elle ne le pouvait pas. Car le pendule n'est pas isochrone, ainsi que Mersenne a pu le constater *par expérience* (et Huygens, le démontrer théoriquement). Or, si les méthodes employées par Mersenne sont différentes de celles de Galilée, et plus précises que les siennes (1), il n'en reste pas moins vrai que l'écart entre la durée des grandes et des petites oscillations est assez sensible et que, par conséquent, il ne pouvait pas ne pas se révéler dans celles que Galilée avait réalisées (2). Que fait-il alors ? Il « corrige » l'expérience, la prolonge dans son imagination et supprime l'écart expérimental. A-t-il eu tort de le faire ? Nullement. Car ce n'est pas en suivant l'expérience, c'est en la devançant que progresse la pensée scientifique.

***

Jetons maintenant un coup d'œil en arrière. Au cours de ce travail, nous avons essayé de caractériser la dynamique aristotélicienne par son axiome fondamental : la vitesse d'un corps en mouvement est proportionnelle à la force motrice, et inversement proportionnelle à la résistance ($V = F : R$) et, de ce fait, une force constante, dans un milieu constant, produit un mouvement uniforme. Nous lui avons opposé l'axiome fondamental de la dynamique classique selon laquelle, le mouvement se conservant dans le mobile, une force constante produit un mouvement non

(1) Cf. mon « Experiment in Measurement ».

(2) Ou : les *écarts*, car le non-isochronisme des grandes et des petites oscillations se double du retard du liège sur le plomb.

plus uniforme, mais accéléré. Nous avons poursuivi, à travers Benedetti, et le jeune Galilée, la critique de la dynamique aristotélicienne, critique qui, en passant par la substitution d'un schéma archimédien à celui d'Aristote ($V = F - R$), aboutit finalement au schéma : accélération proportionnelle à la force motrice... et inversement proportionnelle à la résistance (interne et externe) : $A = F : R$, ou $A = F : R_i + R_e$. Formule dont l'analogie avec celle d'Aristote ne saurait échapper à personne.

Mais regardons de plus près ; ou de plus haut ; et ce n'est pas une analogie, c'est une identité formelle que nous trouverons entre ces deux formules. En effet, la seconde dérive de la première par une adjonction et une substitution : l'adjonction de la résistance interne à la résistance extérieure ; la substitution de l'accélération au mouvement. L'adjonction de la résistance interne à celle du milieu extérieur ne change pas la structure de la dynamique d'Aristote : elle peut même être considérée comme y étant impliquée. Aussi la dynamique de Képler est-elle, dans son inspiration la plus profonde, une dynamique aristotélicienne (1) : la vitesse y est toujours proportionnelle à la force, et une force constante produit un mouvement uniforme. La substitution de l'accélération au mouvement est, au contraire, un bouleversement total ; ce n'est plus une modification de la dynamique ancienne, c'est son remplacement par une autre.

Et pourtant... pourquoi Aristote posait-il le mouvement (ou la vitesse) comme proportionnel à la force motrice ? Parce qu'il le concevait comme un changement, κίνησις, un processus dans lequel le mobile n'est jamais dans le même état *(semper aliter et aliter se habet)*, et que tout changement exige la postulation d'une cause, et même d'une cause proportionnelle à son effet. D'où, nécessairement, la proportionnalité du mouvement à la cause motrice et son arrêt en l'absence de celle-ci. Il n'y a pas, et il ne peut y avoir, de mouvement sans moteur : *sine causa non est effectus*, et : *cessante causa, cessat effectus.*

La physique galiléenne, la physique classique, ne conçoit plus le mouvement comme changement, mais — du moins lorsqu'il est uniforme — comme un véritable « état ». Aussi peut-il perdurer et se conserver sans « cause » : privé ou séparé du moteur, le mobile

(1) Pour Képler, en effet, le mouvement s'oppose au repos comme la lumière aux ténèbres ; cf. mes *Études galiléennes*, III.

poursuivra donc son mouvement. En revanche, l'accélération, elle, est un changement ; en effet, le mobile n'y reste pas dans le même état : il *se habet aliter et aliter*. Aussi l'accélération exige-t-elle une « cause » ou une « force » strictement proportionnelle à elle-même ; et elle cesse de se produire, lorsque cesse l'action de celle-ci. *Sine causa non est effectus ; cessante causa quidem cessat effectus.*

Aussi, en remplaçant, dans nos formules, les termes relativement concrets, V et A, vitesse et accélération, par un terme plus abstrait, et plus essentiel, κ (κίνησις) obtiendrons-nous, pour Galilée comme pour Aristote : $\kappa = F : R$. Ce qui, du point de vue philosophique, me paraît être un résultat profondément satisfaisant.

APPENDICE

Dans les pages qui précèdent, j'ai essayé de décrire l'usage fait par Galilée de la méthode de l'expérience imaginaire, employée concurremment, et même, de préférence, à l'expérience réelle. Et de le justifier. En effet, c'est une méthode extrêmement féconde qui, incarnant, en quelque sorte, dans des objets imaginaires, les exigences de la théorie, permet de concrétiser cette dernière et de comprendre le réel sensible comme une déviation du modèle pur qu'elle nous offre (1). Il faut avouer, cependant, qu'elle n'est pas sans danger, et que la tentation de la concrétisation à outrance, à laquelle on succombe assez facilement, joue quelquefois des tours assez fâcheux et conduit à des affirmations que la réalité s'obstine à démentir. Hélas, il faut constater que Galilée n'a pas toujours évité ce danger !

Je ne vais pas énumérer tous les cas où le grand Florentin a succombé à la tentation ; je me bornerai à citer deux exemples ; assez frappants, tous les deux.

I. — Dans la « digression « hydrostatique (2) — qui coupe le développement de la théorie de la chute et que, pour cela même, je n'ai pas analysée dans le corps de ce travail — Sagredo rapporte comment, en mettant du sel dans un récipient de verre avant de le remplir d'eau (le récipient contenait, de ce fait, de l'eau salée, plus lourde, dans le bas, et de l'eau douce, plus légère, dans le haut), il a pu réussir à y maintenir en équilibre, plongée à mi-hauteur, une balle de cire alourdie par des grains de plomb, et ainsi

(1) Elle joue ainsi le rôle d'intermédiaire entre la pensée pure et l'expérience sensible.
(2) *Discorsi, giornata prima*, pp. 113 sq.

provoquer l'étonnement de ses amis. Salviati, renchérissant, expose comment, en ajoutant au liquide contenu dans le récipient de l'eau salée, ou de l'eau douce, on peut faire monter et descendre la balle — et, sans doute, provoquer ainsi un étonnement encore plus grand. Après quoi, en se basant sur le fait (?) que l'on peut produire les mêmes effets en ajoutant quatre gouttes d'eau chaude à six litres d'eau froide — ou inversement — il conclut que l'eau ne possède aucune viscosité et n'offre aucune résistance (autre que mécanique) à la pénétration ou à la séparation de ses parties, et que les philosophes qui enseignent le contraire se trompent lourdement. Sagredo est d'accord. Pourtant, s'il en est ainsi, demande-t-il, comment se peut-il que des gouttes d'eau, même de dimension assez considérable, se forment sur des feuilles de choux, et que l'eau demeure unie au lieu de s'écouler et de se disperser ? Salviati avoue ne pas pouvoir l'expliquer. Il est sûr, cependant, que c'est là l'effet d'une cause externe et non d'une vertu interne, et en offre une preuve expérimentale « très efficace ». En effet (1), « si les parties de l'eau qui forment une goutte se tenaient ensemble en vertu d'une cause intérieure, elles le feraient bien plus facilement si elles étaient entourées d'un milieu dans lequel elles auraient une propension moindre à descendre que dans l'air ; à savoir, n'importe quel liquide plus lourd que l'air ; par exemple, le vin. Aussi, si on versait du vin sur une telle goutte d'eau, le vin pourrait rester au-dessus d'elle, sans que les parties de l'eau, agglutinées par leur viscosité interne, se séparent : mais cela ne se passe pas ainsi : car, dès que la liqueur qui est versée sur elle la touche, l'eau, sans attendre que cette liqueur [le vin] s'élève sensiblement au-dessus d'elle, se disperse et s'élargit au-dessous de celle-ci, s'il s'agit, notamment, de vin rouge ; la raison de cet effet est donc externe ; peut-être se trouve-t-elle dans l'air ambiant. Car on observe effectivement (lire : véritablement) une grande opposition entre l'eau et l'air, ainsi que je l'ai constaté dans une autre expérience ; à savoir, celle-ci : j'ai rempli d'eau un ballon de cristal qui avait une ouverture aussi étroite qu'est la grosseur d'un brin de paille, ... et l'ai retourné la bouche vers le bas. Or, néanmoins, ni l'eau, bien que très lourde et très apte à descendre dans l'air, ni l'air, bien que très léger, et très disposé à s'élever dans l'eau, ne s'accordèrent, celle-ci à descendre en sortant par l'orifice [du ballon], celle-là à s'élever en y entrant [par celui-ci], mais restèrent tous les deux, obstinés et défiants [dans leurs lieux]. Au contraire, dès que nous présenterons à cet orifice un vase contenant du vin rouge, qui n'est qu'insensiblement moins grave que l'eau, nous le verrons tout de suite monter lentement en traits rouges à travers l'eau, et l'eau, avec la même lenteur, descendre à travers le vin, sans aucunement se mélanger, jusqu'à ce que, finalement, le ballon

(1) *Ibid.*, pp. 115 sq.

s'emplisse entièrement de vin, et l'eau descende, toute, au fond du vase. Or que doit-on dire, et quels arguments faut-il invoquer, sinon qu'il y a entre l'eau et l'air une incompatibilité que je ne comprends pas, mais qui, peut-être... ».

J'avoue que je partage la perplexité de Salviati. Il est, en effet, difficile de proposer une explication de l'expérience surprenante qu'il vient de rapporter. Cela d'autant plus que si on la refaisait *telle qu'il la décrit*, on verrait bien le vin monter dans le ballon de cristal (rempli d'eau) et l'eau descendre dans le vase (plein de vin) ; mais on ne verrait pas l'eau et le vin se substituer purement et simplement l'un à l'autre : on verrait se produire un mélange (1).

Que faut-il en conclure ? Faut-il admettre que les vins (rouges) du XVII^e siècle possédaient des qualités que ne possèdent plus les vins d'aujourd'hui, qualités qui les rendaient immiscibles avec l'eau, comme l'huile l'est encore ? Ou pouvons-nous supposer que Galilée qui, sans doute, n'avait jamais mis de l'eau dans son vin — le vin était, pour lui, « l'incarnation de la lumière du soleil » — n'a jamais fait cette expérience, mais, en en ayant entendu parler, l'a reconstituée dans son imagination en admettant, comme quelque chose d'indubitable, l'incompatibilité essentielle et totale de l'eau et du vin ? — Je crois, pour ma part, que c'est cette dernière supposition qui est la bonne.

II. — Le fait que la résistance du milieu au mouvement du mobile n'a pas une valeur constante, mais augmente en fonction de la vitesse de ce mouvement et ce proportionnellement à celle-ci, comporte une série de conséquences, d'allure paradoxale, que Salviati se fait un grand plaisir d'exposer à ses interlocuteurs (2).

SALVIATI. — ... « Or donc, j'affirme, sans hésitation aucune, qu'il n'y a pas de sphère si grande, ni de matière si lourde, que la résistance du milieu, si ténu soit-il, ne réduise son accélération, et, dans la continuation du mouvement, ne réduise celui-ci à l'uniformité ; ce dont nous pouvons trouver une preuve très claire dans l'expérience même. En effet, ... aucune

(1) On obtiendrait des résultats plus proches de l'assertion de Salviati si, au lieu de ne faire dans le ballon de cristal qu'une seule ouverture on en faisait *deux*, en leur ajoutant, au surplus, à chacune, une paille ou un petit tuyau, l'un (A) pointant vers l'intérieur du ballon, l'autre (B) vers l'extérieur. On verrait alors un trait de vin jaillir du tuyau A vers le haut du ballon, et un trait d'eau vers le bas du vase, le vin s'accumulant en haut et l'eau, en bas. Hélas, même dans ce cas il y aurait mélange ; en outre, c'est d'*un* orifice et non de *deux* que Salviati munit son ballon ; et il ne lui adjoint pas de paille.

(2) *Discorsi, giornata prima*, pp. 136 sq.

vitesse qui puisse être conférée au mobile, ne peut être si grande qu'il ne la récuse et ne s'en prive en vertu de l'empêchement du milieu ; admettons qu'un boulet d'artillerie soit descendu (tombé) dans l'air [de la hauteur], disons, de 4 brasses, qu'il ait acquis, par exemple, dix degrés de vitesse et qu'il entre dans l'eau avec cette vitesse-là ; si la résistance de l'eau n'était pas capable d'interdire au boulet le dit *impelus*, celui-ci l'augmenterait, ou du moins le maintiendrait jusqu'au fond ; ce que l'on ne voit pas se produire. Au contraire, l'eau, bien qu'elle ne soit profonde que de peu de brasses, le contrarie et l'affaiblit de manière telle qu'il ne fera qu'un choc très faible sur le lit du fleuve, ou du lac. Il est donc clair que si l'eau a pu le priver de sa vitesse sur un parcours très bref, elle ne le laissera pas la regagner, même à une profondeur de mille brasses. Comment, en effet, lui permettrait-elle de la gagner en 1 000 [brasses], pour la lui enlever en 4 ? Mais que faut-il de plus ? Est-ce que l'on ne voit pas l'*impetus* immense du boulet lancé par un canon être tellement réduit par l'interposition de quelques brasses d'eau que, sans causer aucun dommage au navire, il arrive à peine à le frapper ? L'air lui-même, bien que cédant très facilement [au mouvement] n'en diminue pas moins la vitesse de la chute d'un mobile, encore que très grave, comme nous pouvons facilement nous en assurer par des expériences concluantes : car, si, du sommet d'une très haute tour, nous tirions un coup d'arquebuse vers le bas, la balle heurterait la terre plus faiblement que si elle [l'arquebuse] était déchargée d'une hauteur de 4 ou 6 brasses seulement ; signe évident du fait que l'*impetus* avec lequel la balle sort du canon [de l'arquebuse], déchargé au sommet de la tour, va en diminuant le long de sa descente par l'air. En conséquence, la chute, d'une hauteur aussi grande que l'on voudra, ne suffira pas pour lui [la balle] faire acquérir cet *impetus* dont la résistance de l'air l'a privé après qu'il lui avait été conféré, peu importe de quelle manière. De même, le dommage que fera à une muraille un boulet, lancé par une couleuvrine de la distance de 20 brasses, je ne crois pas qu'il le fasse en tombant perpendiculairement, si immense que soit la hauteur [de la chute]. J'estime donc que l'accélération d'un mobile naturel partant du repos possède une limite, et que la résistance du milieu réduira [son mouvement] à l'égalité dans laquelle il se maintiendra ensuite. »

Le long passage que je viens de citer nous offre un bel exemple de la pensée de Galilée à l'œuvre et en action : puissance... et imprudence ; usage... et abus de l'imagination. Quoi de plus beau, et de plus profond, que les considérations qui l'amènent à affirmer que le mouvement accéléré de la chute ne suit — et ne peut suivre — que *dans le vide*, la loi mathématique, qu'il a établie pour lui, et que dans tout autre milieu il s'en écarte, et se transforme finalement

en un mouvement uniforme, ayant une vitesse déterminée par la nature du corps descendant et du milieu ambiant (rapport de poids) ? Vitesse qui, de ce fait, pourrait être appelée « vitesse naturelle » de ce corps dans le milieu en question ? Quoi de plus ingénieux que le raisonnement qui nous montre l'impossibilité, pour un corps donné, pénétrant dans un milieu déterminé, de dépasser dans celui-ci sa vitesse « naturelle » et de reconquérir celle, supérieure, dont il était animé avant d'y pénétrer, et dont, en ralentissant son mouvement, le milieu le prive ? Quoi de plus frappant que les expériences qui illustrent et — selon Galilée — apportent une preuve expérimentale à sa thèse ?

Et, cependant, ... s'il est incontestable que les corps tombent dans l'air plus rapidement que dans l'eau et qu'en passant de l'un dans l'autre, ils ralentissent leur mouvement, peut-on ériger cette observation en loi générale, et dire qu'en passant d'un milieu plus rare dans un milieu plus dense, un corps en chute libre ralentit son mouvement ? Ne pourrait-on pas, alors, conclure, de l'impossibilité d'un tel passage, à la nécessité de l'arrêt ? En effet, dans l'exemple — ou « expérience » — de Galilée, on pourrait laisser tomber le boulet, non pas de 4 brasses, mais d'une, d'une demie, d'un quart... et acquérir, donc, au long de son parcours dans l'air, non pas dix degrés de vitesse, mais cinq, un, une moitié et, ainsi de suite, à l'infini. Si la vitesse dans l'eau devait toujours être inférieure à la vitesse dans l'air, elle finirait par être infiniment petite et tomber à zéro. Comment, alors, un corps grave, du plomb ou de l'or, pourrait-il acquérir dans l'eau sa « vitesse naturelle » ? N'est-il pas clair que — chose surprenante — Galilée confond « vitesse » et « accélération » ; et que — chose plus surprenante encore — dans son exemple du boulet de canon arrêté par quelques brasses d'eau il néglige la différence entre l'effet du choc et celui de la résistance hydrostatique, effets qu'il a si bien distingués ailleurs ? Et, d'autre part, s'il est absolument certain que la vitesse, et donc l'*impetus*, d'un boulet de canon n'est nulle part aussi grande qu'au moment où il sort de la bouche de ce dernier, et que la traversée de 20 brasses d'air suffit pour ralentir son mouvement ; s'il est également certain qu'un boulet, lancé verticalement en l'air, à quelque hauteur qu'il monte et donc de quelque hauteur qu'il retombe, ne pourra jamais revenir à terre avec sa vitesse de départ, peut-on en tirer la conclusion qu'en tire Galilée ? A savoir que la vitesse (et donc l'*impetus*)

de ce boulet, de quelque hauteur qu'il tombe, même si cette hauteur est plusieurs fois plus grande que celle qu'il peut atteindre en étant *tiré* verticalement, ne sera jamais égale à la vitesse avec laquelle il sort de la bouche du canon ? Il est clair qu'on ne le peut pas. Galilée, cependant, le fait. Pourquoi ? Parce qu'il croit que la vitesse du boulet de la couleuvrine est une vitesse « surnaturelle », et qui dépasse, de loin, celle que pourrait atteindre un grave en chute libre, même s'il tombait de la Lune (1). Et comment, démontre-t-il le caractère « surnaturel » de la vitesse du boulet ? Mais, justement, par l'expérience du coup dirigé vers le bas : le boulet de canon, ou la balle d'arquebuse, se ralentissent en parcourant, du haut en bas, la hauteur de la tour. Ce qui ne serait pas le cas si leur vitesse de départ était moindre que la vitesse-limite de la chute.

C'est que, — Galilée ne nous le dit pas, mais il est facile de suppléer à son silence, — c'est là la condition de validité du raisonnement, selon lequel la résistance de l'eau retarde, irrémédiablement, le boulet qui y tombe ; et celle de l'air, la balle d'arquebuse que l'on tire vers le bas (2). En effet, dans le vide — où la vitesse

(1) *Ibid.*, *giornata quarta*, pp. 275 sq. : « Quanto... al perturbamento procedente dall'impedimento del mezo, questo è... considerabile, e, per la sua tanto moltiplice varietà, incapace di poter sotto regole ferme esser compreso e datone scienza ; atteso che, se noi metteremo in considerazione il solo impedimento che arreca l'aria a i moti considerati da noi, questo si troverà perturbargli tutti, e perturbargli in modi infiniti, secondo che in infiniti modi si variano le figure, le gravità e le velocità de i mobili. Imperò che, quanto alla velocità, secondo che questa sarà maggiore, maggiore sarà il contrasto fattogli dall'aria ; la quale anco impedirà più i mobili, secondo chè saranno men gravi : talchè, se bene il grave descendente dovrebbe andare accelerandosi in duplicata proporzione della durazion del suo moto, tuttavia, per gravissimo che fusse il mobile, nel venir da grandissime altezze sarà tale l'impedimento dell'aria, che gli torrà il poter crescere più la sua velocità, e la ridurrà a un moto uniforme ed equabile ; e questa adequazione tanto più presto ed in minori altezze si otterà, quanto il mobile sarà men grave... Dei quali accidenti di gravità, di velocità, ed anco di figura, come variabili in modi infiniti, non si può dar ferma scienza : e però, per poter scientificamente trattar cotal materia, bisogna astrar da essi, e ritrovate e dimostrate le conclusioni astratte da gl'impedimenti, servir cene, nel praticarle, con quelle limitazioni che l'esperienza ci verrà insegnando. »

(2) *Ibid.*, pp. 278 sq. : Les projectiles des armes à feu, explique Salviati, doivent être placés dans une catégorie différente de celles des balistes, les flèches des arcs, etc., par suite de « l'excessiva e, per via di dire, furia sopranaturale con la quale tali proietti vengono cacciati ; chè bene anco fuora d'iperbole mi par che la velocità con la quale vien cacciata la palla fuori d'un moschetto o d'una artigleria, si possa chiamar sopranaturale. Imperò che, scendendo naturalmente per l'aria da qualche altezza immensa una tal palla, la velocità sua, merce del contrasto dell'aria, non si andrà accrescendo perpetuamente : ma quello che ne i cadenti poco gravi si vede in non molto spazio accadere, dico di ridursi finalmente a un moto equabile, accaderà ancora, dopo la scesa di qualche migliara di

de chute ne connaît pas de limite — un boulet tiré vers le bas ne serait pas retardé ; au contraire, à sa vitesse de départ s'ajouterait continuellement celle de l'accélération normale de la chute. Et il en serait de même, ou à peu près, si, au lieu de le lancer vers le bas avec la vitesse « surnaturelle » que lui confère la déflagration de la poudre, nous nous bornions à le jeter avec celle que peuvent lui donner les bras : disons, par exemple, 10 brasses à la seconde. Il est clair que la résistance de l'air — proportionnelle à cette vitesse très faible et, donc, presque nulle — ne saurait l'empêcher d'arriver à terre avec une vitesse plus grande que celle du départ ; et aussi plus grande que celle qu'il aurait atteinte en chute libre. Or, l'expérience prouve qu'il est, en fait, retardé. Aussi démontre-t-elle la vitesse « surnaturelle » de la balle d'arquebuse ; et du boulet de la couleuvrine.

J'ai dit : l'expérience prouve... mais, ce n'est pas *prouve*, c'est *prouverait* que j'aurais dû dire. Prouverait..., si on le faisait. Car, ainsi que nous l'avoue honnêtement Galilée, dans la *giornata quarta* de ces mêmes *Discours*, dont j'ai longuement cité la *prima*, il ne l'a pas faite (1). Mais il est sûr du résultat. On le comprend sans peine : ce qui doit arriver, arrive ; et ce qui ne peut pas arriver, n'arrive pas. Or, la vitesse de la chute d'un grave — tomberait-il de la Lune — ne peut pas dépasser, on l'a vu, une certaine limite. Le retardement du boulet s'ensuit. L'expérience ne peut que confirmer la déduction.

Galilée, nous le savons bien, a raison. La bonne physique se fait *a priori*. Elle doit, toutefois, ainsi que je l'ai dit tout à l'heure, se garder du travers — ou de la tentation — de la concrétisation à outrance, et ne pas laisser l'imagination prendre la place de la théorie.

Alexandre KOYRÉ.

braccia, in una palla di ferro o di piombo ; e questa terminata ed ultima velocità si può dire esser la massima che naturalmente può ottener tal grave per aria : la qual velocità io reputo assai minor di quella che alla medesima palla viene impressa dalla polvere accesa ».

(1) *Ibid.*, p. 279 : « Io non ho fatto tale esperienza, ma inclino a credere che una palla d'archibuso o d'artiglieria, cadendo da un' altezza quanto si voglia grande, non farà quella percossa che ella fa in una muraglia in lontananza di poche braccia, cioè di così poche, che'l breve sdrucito, o vogliam dire scissura, da farsi nell'aria non basti a levar l'eccesso della furia sopranaturale impressagli del fuoco. »

A propos du Cinquantenaire de la Chronaxie : L'importance de l'œuvre de Louis Lapicque en Neurophysiologie

C'est le 24 juillet 1909 que, dans une note présentée à la Société de Biologie, Louis Lapicque, après 6 ans de recherches sur l'excitabilité électrique des nerfs et des muscles, aboutissait à la définition de la *chronaxie*, constante de temps de l'excitabilité. Le 15 février 1910, la *Revue générale des Sciences* publiait sous le titre : « Principe pour une théorie du fonctionnement nerveux élémentaire », la première conception moderne de l'harmonie des aiguillages nerveux donnant à la notion de neurone sa pleine valeur physiologique : c'est la chronaximétrie qui en avait permis l'élaboration. Il importe que l'histoire des sciences tienne cette date pour importante et n'oublie pas de situer le nom de Lapicque à côté de celui de Sherrington et de celui de Pavlov, comme fondateur de la neurophysiologie moderne. On n'a pas toujours compris le sens de ce que Lapicque apportait et qui, loin d'être dépassé, garde encore sa fécondité. Pour certains, la chronaxie ne serait qu'un moyen commode de situer la loi d'excitabilité en fonction du temps et l'hypothèse aujourd'hui controuvée que le passage de l'influx nerveux de neurone à neurone à la synapse est une excitation électrique exigeant l'accord des chronaxies entre les deux éléments. En réalité, la notion de chronaxie a une toute autre signification dont la portée se hausse au niveau de la plus haute philosophie scientifique. Elle traduit un esprit naturaliste qui ne se satisfaisait pas d'études quasi physiques sur l'unique préparation sciatique-gastrocnémien de Grenouille et songeait à tous les êtres dans leur totalité, n'hésitant pas, à une époque où la conscience-épiphénomène était considérée avec horreur par l'objectivité scientifique, à affirmer que les animaux voisins de nous ont à leur niveau une conscience et une volonté

qu'il appartiendra à la neurophysiologie de comprendre un jour.

Nous voudrions donc rappeler brièvement l'importance de ce que Lapicque, le maître disparu en décembre 1952, a apporté grâce à un effort expérimental ininterrompu, en collaboration avec Mme Lapicque, dont janvier 1960 a marqué le décès.

1. — La chronaxie, appréciation de l'état cellulaire et de ses variations

La loi de l'excitabilité en fonction du temps, le fait qu'au-dessous d'une certaine durée d'excitation, il faut augmenter l'intensité pour conserver l'efficacité, était connue avant Lapicque, notamment par les travaux de Hoorweg et de Weiss. Mais il s'agissait de travaux de physique biologique mettant, au premier plan, les lois de l'excitation de la matière vivante par un excitant extérieur plus que la réactivité de celle-ci. L'originalité de Lapicque est d'avoir comparé la réactivité de divers types de matière vivante et d'avoir découvert que si la loi d'excitabilité était analogue, sa place dans l'échelle des temps variait avec le type cellulaire, sa vitesse était fonctionnelle. Chaque cellule compte le temps à sa manière : les éléments lents ont besoin d'un courant plus prolongé que les éléments rapides. L'attention de Lapicque avait été attirée sur cet aspect des différences de vitesse fonctionnelle par le sujet d'études qui avait été donné à celle qui devait devenir sa femme comme sujet de thèse : « Recherches sur l'excitabilité électrique de divers muscles de Vertébrés et d'Invertébrés. » Ainsi, dès l'origine, l'excitabilité électrique leur apparaissait comme un moyen commode de mesurer l'état protoplasmique et ses variations. C'est pour rendre cette méthode plus pratique que Lapicque eut l'idée de ne plus déterminer toute la loi, mais de fixer sa position dans l'échelle des temps par la détermination d'un seul point caractéristique, la durée efficace pour une intensité double du minimum d'intensité (dit *rhéobase*). Dès lors, la nature, le type constitutif, les constantes de fonctionnement de toute cellule excitable devenaient faciles à chiffrer, de même qu'on pouvait en apprécier toutes les variations sous l'effet des facteurs de toutes origines. L'excitabilité électrique cessait d'intéresser le seul spécialiste pour devenir un test de valeur générale pour le physiologiste et le pharmacologiste. Réfléchissant sur les mécanismes intimes de l'excitabilité électrique, Lapicque expliquait

comment cette sollicitation extérieure, vraie agression ménagée contre la matière vivante, mettait en jeu sa réactivité de défense : la chronaxie chiffre la rapidité avec laquelle la riposte cellulaire lutte contre l'agression extérieure. La réponse n'est pas proportionnelle à l'énergie reçue, mais à la réactivité de la cellule qui dépend plus de la qualité que de la quantité, c'est-à-dire de la manière dont lui est fournie cette énergie. La même loi se retrouve pour tous les types d'excitants. La vieille notion, chère à Du Bois-Reymond, de l'unité de l'excitabilité due à l'emploi exclusif de la préparation sciatique-gastrocnémien de Grenouille, disparaissait devant le point de vue comparatif des diverses excitabilités. L'excitant n'était plus simplement le moyen de déclencher une réponse, il devenait un test de mesure de l'état cellulaire par une connaissance précise de la réactivité aux facteurs intensité, durée, forme, réitération, de l'excitant. Il faut dire qu'aujourd'hui les adversaires de la chronaximétrie sont loin de tirer autant de l'étude de l'excitabilité. Les méthodes modernes, plus complexes, n'arrivent pas encore à donner autant de renseignements que la simple mesure de la chronaxie, qu'il s'agisse de la mesure du potentiel de repos, des caractères de l'impulsion nerveuse, des changements ioniques ou chimiques. On atteint une analyse de grande précision, mais qui dissocie les divers éléments que la chronaximétrie envisage ensemble en pénétrant d'emblée d'un point de vue synthétique dans la réactivité cellulaire vivante. On ne doit donc pas s'étonner qu'il n'y ait pas parallélisme obligatoire entre les variations de chronaxie et celles de tel ou tel autre facteur. C'est à tort que les nécessaires tendances à une plus fine analyse font négliger les méthodes apparemment moins fines, qui révèlent l'aspect synthétique qui est la vraie réalité intégrée du fonctionnement de la matière vivante.

2. L'individualité chronologique cellulaire

Dans cette appréciation de l'état cellulaire et de ses variations, l'intérêt majeur de la chronaximétrie est d'insister sur l'aspect chronologique, les variations de la constante de temps : elle chiffre les modifications de la rapidité cellulaire d'un instant à l'autre, les divers types de rapidité protoplasmique. Il s'agit de l'appréciation de l'individualité chronologique cellulaire. Or le caractère fondamental de l'activité fonctionnelle protoplasmique n'est pas

l'intensité d'activité, mais sa vitesse : une cellule activée, c'est une cellule accélérée, une cellule ralentie, inhibée, freinée, c'est une cellule dont la vitesse fonctionnelle diminue. L'intensité d'activité varie secondairement à ces changements de vitesse. Or aujourd'hui encore, on a le tort de négliger beaucoup cet aspect chronologique : l'excitation est considérée comme une activation et pas une accélération, l'inhibition comme une diminution ou perte d'activité et pas un ralentissement. Du point de vue excitabilité de même, l'excitation est une plus grande aptitude à l'excitation, l'inhibition une diminution de réactivité et on se désintéresse de l'aspect essentiel : accélération et ralentissement de l'excitabilité qui nous ferait pénétrer bien plus loin dans l'intimité du fonctionnement cellulaire. Comme dans la plupart des sciences, en neurophysiologie l'aspect spatial statique et mécaniste des structures a fait place à la notion *spatio-temporelle* et dynamique des *structurations* fluctuantes. C'est ne pas voir l'essentiel de cette dynamique que de ne voir dans le temps que des variations d'intensité en oubliant les changements de vitesse fonctionnelle.

La mesure de l'excitabilité cellulaire doit reposer sur une appréciation énergétique, tenant compte à la fois de l'intensité et de la durée de l'excitant. La simple mesure d'une constante de temps d'excitation comme la chronaxie ne peut donc chiffrer les variations de l'excitabilité elle-même. Mais l'intérêt de la mesure de la chronaxie n'est pas d'apprécier ou de contribuer à apprécier l'excitabilité, il est de chiffrer la vitesse fonctionnelle cellulaire. Quand, aujourd'hui encore, beaucoup veulent déterminer les variations d'excitabilité par l'appréciation du seul seuil d'intensité, ils tombent dans l'erreur inverse de la précédente, car on ne peut juger de l'excitabilité sur un seul facteur, mais surtout ils choisissent le facteur qui, indépendamment même des difficultés expérimentales plus grandes de son appréciation, ne nous livre pas les renseignements les plus intéressants sur le fonctionnement cellulaire. Pour utiliser pleinement l'excitabilité électrique, il faut la situer par rapport au facteur temps, lui demander de nous faire connaître l'individualité chronologique cellulaire.

3. Chronaxie et intégration cellulaire

Une des thèses sur laquelle Lapicque a le plus insisté est que la chronaxie est une constante cellulaire identique en tous points d'une cellule par exemple d'un neurone, caractéristique de la constitution de sa matière vivante. Bien entendu, il s'agit de l'état normal et toute perturbation localisée en un point de la cellule y change localement la chronaxie. A cette conception de la chronaxie cellulaire, corroborée par les méthodes classiques de mesure de chronaxie, semble s'opposer la conception actuelle reposant sur les fines mesures de chronaxie avec de fines électrodes, permettant d'interroger les diverses parties de la cellule. On tend vers la notion que toutes les régions de la cellule, tous les organites cellulaires en raison de leur constitution chimique différente ont des chronaxies différentes. Il n'y a d'ailleurs pas que les différences de constitution, mais la cellule est soumise normalement en chacun de ses points aux influences les plus variées, qui modifient son excitabilité : la mesure fine des chronaxies le met en lumière. La constance classique de la chronaxie ne serait qu'une illusion due à l'insuffisance première des méthodes. En réalité, toutes ces notions des variabilités locales sont parfaitement exactes, mais cela n'entraîne nullement que l'ancienne conception soit fausse. Ici encore la fine analyse qui nous livre des notions nouvelles tend à faire disparaître l'objet même de l'étude, c'est-à-dire la cellule et son unité. Le physicien peut, à tort, oublier l'unité supérieure de la molécule ou de l'atome qu'il analyse ; le biologiste, lui, comme l'a si bien dit Cl. Bernard, ne le peut pas, car son analyse doit nous expliquer le fonctionnement synthétique d'ensemble d'un être intégré. Un homme n'est qu'un ensemble de cellules, mais ces cellules ne sont pas indépendantes, elles ont un fonctionnement harmonisé au service du tout, d'une individualité supérieure que l'analyse tend à oublier, mais qui n'est nullement une notion philosophique : elle nécessite une science spéciale, la physiologie de l'intégration. Il en est de même dans la cellule, petit monde à part unifié où tous les processus physico-chimiques sont finalisés à la sauvegarde de la vie, c'est-à-dire du fonctionnement harmonieux du tout. Alors que les microméthodes nous renseignent sur les variations d'excitabilité locale, les macrométhodes classiques, d'apparence moins perfectionnées, permettent d'échapper aux variations locales et de nous donner l'excitabilité

constitutive générale de la cellule, une excitabilité d'intégration d'ensemble résultant de l'unité et de l'unification cellulaire. Nos recherches sur l'irritation nerveuse nous ont ainsi permis de voir comment une modification locale de chronaxie peut se généraliser à l'ensemble du neurone, soit à partir du corps cellulaire, soit à partir des extrémités de la fibre, soit à partir d'un point quelconque. C'est le corps cellulaire qui possède au maximum ce pouvoir régulateur et unificateur de généralisation et qui l'utilise dans les conditions physiologiques, soit un aspect lié à son pouvoir trophique. C'est ainsi, tout naturellement, que Lapicque a pu passer de cette notion d'individualité cellulaire que lui confirmait la chronaximétrie à l'idée que cette intégration cellulaire unifiant le comportement était le germe biologique d'une intériorité psychologique élémentaire, d'une *conscience cellulaire*, la supériorité de notre conscience étant en rapport avec le niveau supérieur de notre intégration qui, cependant, n'existerait pas si nous n'étions pas faits de cellules vivantes, douées de cet élément de conscience. Dans cette notion de l'intégration cellulaire et de l'intégration organique qui s'impose de plus en plus à la physiologie, Lapicque, grâce à la chronaximétrie, a été un précurseur.

4. Chronaxie et réactivité cellulaire

Mais ce petit monde à part de la cellule qui se défend contre l'action destructrice du milieu extérieur, ne vit que grâce à lui : la vie c'est une structuration permanente imposée à des éléments changeants empruntés sans arrêt au milieu et y retournant. Pas de vie sans réactivité, sans excitabilité : l'excitation intense tue ; modérée, elle active et permet la vie. Moyen de chiffrer l'activité protoplasmique, la chronaxie chiffre en même temps la réactivité cellulaire. D'emblée Lapicque eut l'idée, puisque les tissus rapides ont besoin d'excitants brefs et les tissus lents d'excitants plus longs, que ceci ne concernait pas seulement la réactivité à un courant extérieur, mais aussi les relations entre cellules, c'est-à-dire les lois de l'harmonie du fonctionnement nerveux, le passage de l'influx à la synapse entre les neurones ou la commande neuro-musculaire. A une époque où Dastre déplorait que « le neurone ne nous apprend rien », Lapicque fondait sur l'individualité chronologique neuronique la base de l'harmonie du fonctionnement nerveux. Si, dans ce réseau complexe où tout est interconnecté,

seuls certains passages sont ouverts, tandis que les autres sont fermés et ceci de façon variable adaptée aux besoins, c'est que tout repose sur des variations d'excitabilité des neurones qui les rendent réfractaires aux influences chronologiquement désaccordées de leur vitesse propre et sensibles à celles qui y sont accordées. Lapicque proposait ainsi, il y a cinquante ans, une conception du fonctionnement nerveux qui, dans son principe, est celle qui est adoptée aujourd'hui. C'est bien, en effet, aux variations d'excitabilité des neurones qu'on attribue leur aptitude à recevoir, transmettre et émettre leurs messages : ces variations d'excitabilité les font osciller entre excitation et inhibition. D'où vient alors que la neurophysiologie actuelle ne veut pas reconnaître cette importance de la conception de Lapicque ? Ceci tient à plusieurs malentendus : *a)* La chronaximétrie n'est qu'un moyen de chiffrer l'activité fonctionnelle neuronique, l'état d'excitation ou d'inhibition, l'accord ou le désaccord existant entre deux neurones de même vitesse fonctionnelle ou de vitesse différente. Ce qui ouvre et ferme les voies, ce n'est donc pas l'accord ou le désaccord des chronaxies permettant l'efficacité physique de l'onde électrique d'influx nerveux, c'est l'accord ou le désaccord protoplasmique que la chronaximétrie permet de déceler.

b) Les études actuelles, nous l'avons dit, ont le tort de négliger l'aspect chronologique. L'essentiel de l'excitation apparaît une dépolarisation, l'essentiel de l'inhibition, une surpolarisation, ceci entraînant des variations du facteur intensité d'excitation. Dans ces conditions, la chronaximétrie apparaît loin de la réalité et on ne lui reconnaît tout au plus que la possibilité d'évaluer indirectement les variations du seuil d'intensité. Quand on reconnaîtra que la dépolarisation est conséquence d'une accélération et la surpolarisation d'un ralentissement, on comprendra que l'essentiel est le facteur temps sur lequel nous renseigne directement la chronaxie. En particulier, la barrière qui, dans le cerveau, sépare les structurations inconscientes des structurations conscientes, est surtout chronologique, une différence de vitesse fonctionnelle qui empêche l'unification complète sans empêcher les interactions.

c) La chronaximétrie a étudié les conditions d'efficacité d'une onde d'influx nerveux unique ; or le neurone est sans arrêt le siège de l'intégration de multiples influx simultanés et successifs arrivant par de multiples synapses : sa réponse dépend de l'intégration de toutes ces excitations qui ajoutent leurs effets positifs

ou négatifs sur son excitabilité. On en conclut que la barrière chronologique efficace, vis-à-vis d'un influx, ne saurait l'être vis-à-vis d'une sommation. En réalité, en appréciant la vitesse fonctionnelle neuronique, la chronaximétrie nous renseigne sur l'aptitude des divers influx arrivant sur le neurone à y modifier localement l'excitabilité : des influx désaccordés seront peu efficaces, des influx accordés plus efficaces. Si, théoriquement, une sommation peut lever la barrière du désaccord, pratiquement le passage sera facilité s'il y a accord aussi bien pour une série d'influx que pour un seul.

d) La notion d'accord et de désaccord chronaximétrique s'est développée dans le cadre de la conception d'une transmission synaptique électrique de l'influx qu'elle semblait appuyer. Or, aujourd'hui, l'existence d'une médiation chimique est généralement admise avec des substances différentes pour les synapses excitatrices et inhibitrices. On en déduit trop vite que les lois physiques de la transmission mises en lumière par la chronaximétrie ne sont plus valables. En réalité, celles-ci précisent les conditions d'efficacité de l'excitant en rapport avec l'excitabilité neuronique, en dehors de toute hypothèse sur le fait que cet excitant agit directement ou par un intermédiaire chimique ; les conditions d'efficacité du médiateur chimique répondent aux lois physiques de la transmission. Tout ce qu'apporte la chronaximétrie reste donc valable, quel que soit le type de transmission.

5. Notion de subordination et régulation centrale du fonctionnement nerveux

Si, dès 1910, Lapicque a conçu théoriquement les lois fonctionnelles des centres nerveux en se basant sur ses recherches chronaximétriques, ce n'est que postérieurement qu'il en a apporté la preuve en montrant que ces modulations de l'activité fonctionnelle neuronique existaient réellement au cours du fonctionnement physiologique. Pour cela, il fallait étudier l'excitabilité sur le sujet entier. C'est précisément ce qui est obligatoire en clinique humaine : aussi quand Bourguignon commença à mesurer les chronaxies sur l'homme, dans des recherches qui aboutirent à sa thèse de 1923, il constata que les chronaxies des divers systèmes neuromusculaires sont différentes : il existe une différence du simple au double entre les antagonistes, alors que dans les travaux expéri-

mentaux sur l'animal qui avait toujours pour raison de commodités les centres détruits ou qui était anesthésié, les chronaxies sur ces neurones, de constitution analogue, sont toujours identiques ; en même temps, Bourguignon montrait qu'en pathologie les troubles centraux retentissent sur les chronaxies nerveuses périphériques *(répercussion)*. Reprenant alors les études sur l'animal, Mme Lapicque montra, en 1923, que les chronaxies diffèrent suivant que les centres sont ou non présents : les centres modifient *à distance* la chronaxie des nerfs. Vers la même époque, A. et B. Chauchard expérimentaient, eux aussi, sur l'animal éveillé et constataient, dans ces conditions, la grande variabilité des chronaxies, en particulier au niveau des centres psychomoteurs. C'est sur cette base qu'en 1928, Lapicque développa sa notion d'un *centre régulateur* du fonctionnement nerveux, responsable de l'adaptation réflexe de l'excitabilité de tous les neurones aux besoins. Ce centre tient sous sa dépendance la vitesse fonctionnelle de tous les neurones, ce qui se traduit pratiquement dans le fait que les chronaxies des nerfs sont modifiées sous l'influence du centre régulateur : ce sont des *chronaxies de subordination*, alors qu'en dehors de l'influence du centre, il s'agit des chronaxies de constitution tenant à la nature du neurone. C'est le centre régulateur qui, par une auto-régulation réflexe provenant de la sensibilité musculaire, différencie la chronaxie des antagonistes : le test chronaxique indique la différenciation introduite entre les deux neurones par la régulation centrale, différenciation qui permet l'aiguillage harmonieux des influx et l'exécution correcte des mouvements.

Il faut insister sur l'importance et la nouveauté de ces notions en 1928 ; à cette date, la plupart des neurophysiologistes, à la suite de Sherrington, ne s'occupaient que de l'analyse du fonctionnement réflexe élémentaire, l'animal de choix étant l'animal spinal privé de ses centres supérieurs. La notion d'un centre régulateur et la fonction de régulation leur échappaient totalement. L'idée que l'excitabilité d'un nerf puisse être variable avec l'état des centres, semblait inadmissible ; elle se heurta à un grand scepticisme, et de nombreuses expériences négatives où la précision expérimentale en supprimant la spontanéité de l'animal aboutissait à annuler le phénomène recherché, vinrent, en fait, confirmer la notion de subordination.

Non seulement des précisions importantes étaient ainsi apportées sur l'harmonie du fonctionnement des centres, mais une nouvelle

méthode commode était réalisée pour l'étude des processus d'excitation et d'inhibition centraux ; plus besoin d'étudier nécessairement directement les centres, puisque la mesure des chronaxies sur le nerf pouvait servir de test de l'état central. Dès lors, l'accent était mis sur l'intérêt des mesures d'excitabilité sur l'animal normal dans les conditions naturelles. La chronaximétrie venait ainsi se placer à côté de l'école pavlovienne qui, depuis le début du siècle, avait précisément entrepris de tester les excitations et inhibitions cérébrales de l'extérieur, en notant l'intensité d'une réponse à des signaux (salivation, etc.) : méthode des réflexes conditionnés. Pavlov avait ainsi, le premier, insisté sur la nécessité de l'étude du cerveau normal éveillé. La chronaximétrie y arrivait à son tour, la réponse n'étant plus une réaction quelconque, mais une modification de chronaxies. L'association des deux méthodes devait, d'ailleurs, se révéler féconde (variations des chronaxies périphériques aux divers temps d'un réflexe conditionné) (1934).

Alors que le nerf est lui-même relativement peu sensible, au contraire sur le sujet normal, il devient le témoin de tout ce qui trouble les centres, le test de tous les déséquilibres nerveux ; or toutes les agressions externes, internes ou psychiques (émotions) sont facteurs de tels déséquilibres, que la chronaximétrie de subordination permet d'apprécier, d'où son grand intérêt dans un nombre infini de domaines et notamment en psychosomatique. La mesure des chronaxies est un bon signe de ces déséquilibres neuro-hormonaux qu'avec Sélye on désigne sous le nom de *stress*.

Vers la même époque s'était développée indépendamment la notion de l'existence dans la base du cerveau d'un centre du sommeil ou de la veille, régulateur de l'activité du cerveau, notion qui était loin d'être acceptée par tous les neurophysiologistes, puisque Pavlov aussi bien que Bremer ne s'y ralliaient pas. En 1941, j'ai pu montrer que le sommeil n'était qu'un cas particulier d'action du centre régulateur du fonctionnement nerveux, l'éveil étant un processus d'activation de subordination. A la notion de dispositifs régulateurs spécialisés pour le sommeil, le tonus musculaire, faisait suite la notion d'un centre régulateur général, dont les régulations particulières n'étaient que des modalités. Dans le cadre de la régulation de subordination, Lapicque expliquait ainsi les fonctions du cervelet.

On sait que cette notion d'une fonction centrale de régulation agissant sur l'ensemble des neurones, pour harmoniser aux besoins

leur état d'excitation ou d'inhibition, est aujourd'hui admise par tous les neurophysiologistes et notamment ceux qui se sont le plus opposés à la notion de subordination. On le doit à des travaux issus de la continuation des expériences sur le centre du sommeil : Magoun a commencé par retrouver l'existence d'une régulation descendante de l'excitabilité réflexe médullaire, situant cette régulation dans la *formation réticulaire* de la base du cerveau, sorte de réserve d'influx activateurs, puis à partir de 1949, il a mis en lumière la fonction d'activation ascendante de la formation réticulaire sur le cerveau. Plus récemment, on est arrivé à la notion que tout le fonctionnement cérébral vigile, l'attention, la formation des réflexes conditionnés dépendent de cette régulation basilaire. On a mis en évidence la répercussion des processus d'excitation et d'inhibition centraux au niveau des centres inférieurs et même des récepteurs périphériques. C'est exactement ce que, depuis 1928, avait mis en lumière la chronaximétrie. Pourquoi faut-il donc que la confirmation de ces résultats continue à s'accompagner du même refus de prise en considération de sa valeur ? La chronaximétrie a révélé la notion de régulation nerveuse ; nous savons aujourd'hui comment elle est assurée et nous en situons les mécanismes. La mesure des chronaxies de subordination apparaît comme un moyen commode de déceler tous les déséquilibres de la formation réticulaire, dont la sensibilité extrême réagit à tout ce qui influence le système nerveux.

Aujourd'hui où tout le monde est d'accord sur la nécessité d'étudier l'organisme entier avec son cerveau éveillé, où la conscience apparaît comme le processus cérébral essentiel, il nous a paru nécessaire d'insister à propos du cinquantenaire de la chronaxie sur le fait que Lapicque fut, à ce point de vue, un précurseur et qu'il est d'autant plus injuste de l'oublier que sa méthode reste encore souvent aujourd'hui plus féconde que d'autres plus perfectionnées. Lapicque doit figurer parmi les fondateurs de la neurophysiologie moderne au même rang que Sherrington et Pavlov.

Du point de vue philosophique, cette notion de centre régulateur n'a pas épuisé sa richesse pour nous expliquer sur quelle base physiologique repose l'unité individuelle et la conscience réfléchie. Du point de vue méthodologique, les reproches injustifiés faits à la chronaximétrie au nom d'une rigueur analytique plus grande, nous montrent que la précision de l'analyse ne suffit

pas et qu'en s'enfonçant dans le détail on ne saurait, sous peine d'oublis graves, oublier l'intégration d'ensemble : il n'y a pas des méthodes plus ou moins valables : il y a des méthodes plus ou moins adaptées à l'objet de la recherche : pour la neurophysiologie, l'objet de la recherche n'est pas seulement le neurone ou telle partie de celui-ci, c'est l'homme agissant grâce à son cerveau dans le complexe milieu social (1).

P. CHAUCHARD.

(1) Pour plus de détails, voir L. LAPICQUE, *La machine nerveuse*, Paris, Flammarion, 1942, et P. CHAUCHARD, *Les mécanismes cérébraux de la prise de conscience*, Paris, Masson, 1956, ainsi que P. CHAUCHARD, in *La Presse médicale*, 1951, p. 62, p. 1928, et 1959, p. 67, p. 1498.

DOCUMENTATION ET INFORMATIONS

I. — DOCUMENTATION

Du nouveau sur Colladon précurseur de Mendel

Depuis que j'ai signalé, en 1955 (1), l'existence de ce pharmacien suisse — Colladon — qui, vers 1820, réalisa des croisements de Souris grises et blanches dans l'intention d'étudier les phénomènes d'hérédité, plusieurs biologistes et historiens des sciences se sont intéressés à ce lointain précurseur de la génétique mendélienne.

Les textes de W. F. Edwards et de J.-L. Prévost et J.-B. Dumas, qui avaient attiré mon attention sur Colladon, ne contenaient aucune indication quant au prénom du pharmacien expérimentateur, et la première tentative pour identifier celui-ci appartient au Pr H. Grüneberg, qui, consacrant à Colladon une partie de sa Leçon inaugurale à l'Université de Londres (*Genes in Mammalian development*, 1956), suppose qu'il s'agit de Louis-Théodore-Frédéric Colladon, docteur en médecine, né en 1792 et mort en 1862. Mais, d'après M. Roger Hahn (2), l'auteur des expériences sur les Souris serait le père de Louis-Théodore-Frédéric, à savoir Jean-Antoine, pharmacien, né à Genève en 1755 et mort en 1830.

L'un des arguments de M. Hahn est que, dans le mémoire de Prévost et Dumas (1824), le Colladon des Souris est mentionné comme « membre distingué » de la Société de Physique de Genève, alors que Louis-Théodore-Frédéric n'appartenait à cette Société que depuis trois ans (1821).

(1) Voir Jean Rostand, *Revue d'Histoire des Sciences et de leurs applications*, t. VIII, n° 2 (avril-juin 1955), pp. 117-118, et aussi t. X, n° 2 (avril-juin 1957), pp. 175-176, *L'atomisme en biologie*, chap. IX, 1956 ; *Aux sources de la biologie*, chap. VII, 1958.

(2) Voir Roger Hahn, Colladon de Genève, précurseur de Mendel, *Revue d'Histoire des Sciences*, t. XII, n° 1 (janv.-mars 1959), pp. 55-56.

De soigneuses recherches dues, simultanément, au Dr René-Maurice Tecoz (1) et à MM. de Morsier et Cramer (2), ont apporté à l'opinion de M. Hahn des confirmations décisives. En particulier, ayant consulté les archives manuscrites de la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève, ils ont retrouvé les comptes rendus des séances où « M. Colladon » a présenté ses recherches sur les Souris.

Séance du 3 mai 1821. — M. Colladon lit une note sur les Souris blanches, qu'il regarde comme une nouvelle espèce à cause de la constance de leur couleur.

Séance du 18 juin 1822. — M. Colladon lit un mémoire sur les Souris blanches, qu'il considère comme une espèce particulière et sur lesquels *(sic)* il a institué plusieurs expériences ; il fonde son opinion sur l'absence de métis lorsqu'on accouple des Souris blanches avec des Souris grises, dans ce cas les petits sont de l'une ou de l'autre couleur ; on insiste enfin sur la constance de la couleur blanche de génération en génération, qu'il a eu l'occasion d'observer depuis longtemps chez ces Souris, soit qu'il les conservât dans un endroit obscur ou au grand jour. M. de Candolle ne pense pas que les Souris blanches soient une espèce, mais bien une race ; cette question rentre dans celle des albinos.

M. Colladon observe que chez les hommes les albinos ne se propagent point.

M. Mayor rapporte des cas de propagation chez les hommes ; à Chardonne, au-dessus de Vevey, on rencontre deux générations dans une famille.

M. de Candolle pense d'ailleurs que l'action produite chez l'homme par l'état d'albinos est trop puissante pour ne pas altérer la santé des individus.

Or, entre les deux séances du 3 mai 1821 et du 18 juin 1822, M. Colladon a communiqué (séance du 28 juin 1821) « une lettre de son fils renfermant la description d'une descente dans la cloche à plongeur à Dublin ».

Ce fils, c'est bien évidemment le médecin, Louis-Théodore-Frédéric Colladon, qui est donc entièrement étranger aux recherches sur les Souris.

Ainsi se trouvent définitivement précisés les points suivants :

1° L'auteur des expériences sur les Souris n'est pas le Dr Louis-Théodore-Frédéric Colladon (1792-1862), mais bien son père, le pharmacien Jean-Antoine (1755-1830).

2° Le mémoire sur les Souris, où Jean-Antoine Colladon a exposé des faits importants sur l'hérédité de la coloration, a été présenté à la Société de Physique de Genève le 18 juin 1822.

3° De surcroît, M. Tecoz a fort bien expliqué comment le Dr W. F. Edwards avait pu avoir connaissance des recherches de

(1) René-Maurice Tecoz, Un précurseur suisse de Mendel, *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles*, vol. 67, fasc. 3, n° 299 (28 février 1959).

(2) G. de Morsier et M. Cramer, Jean-Antoine Colladon et la découverte de la loi de l'hybridation en 1821, *Gesnerus*, vol. 16, fasc. 3-4, 1959.

Colladon : le compte rendu de la séance du 18 septembre 1823 nous révèle que le Dr Edwards était présent à cette séance, où il a donné quelques éclaircissements sur des expériences faites par son frère (Henri Milne Edwards) et M. Brechet ; il a donc pu y rencontrer Colladon et s'entretenir avec lui.

Resterait maintenant à retrouver le manuscrit du Mémoire sur les croisements de Souris. Les chances d'une pareille découverte semblent fort réduites. Le Dr Tecoz s'est mis en rapport avec le dernier descendant de la famille Colladon, mais celui-ci ne possède aucun document familial et ignore ce que sont devenus les manuscrits de ses ancêtres.

Voici, d'après MM. de Morsier et Cramer, une notice nécrologique concernant Jean-Antoine Colladon (parue dans les *Actes de la Société helvétique des Sciences naturelles*, Assemblée de Saint-Gall, 26-28 juillet 1830) ; elle nous donne quelque information sur la vie et la carrière du pharmacien genevois :

M. Jean-Antoine Colladon était un des membres fondateurs de la Société helvétique des Sciences naturelles et faisait partie du Comité qui s'est réuni, en 1814, chez M. Gosse, pour organiser cette association et, dès lors, il s'y est rendu assez fréquemment et a souvent fait partie du Comité qui dirige les opérations.

Il était né à Genève, en 1756, et avait suivi la carrière de la pharmacie dans laquelle son père, Louis Colladon, avait déjà acquis quelque célébrité. Il aimait cet art soit pour les services qu'il rend à la science médicale, soit par ses relations avec la chimie et la botanique. Il l'exerçait avec soin et avec distinction et se plaisait à honorer la pharmacie de ses connaissances et la manière dont il l'exerçait. Il avait fait ses études en Allemagne et surtout à Berlin, et se tenait fort au courant des travaux des chimistes et pharmacologues allemands.

M. Colladon a consacré une partie de son temps et de son influence pour favoriser dans Genève toutes les associations utiles : de concert avec MM. de Saussure et Senebier, il a contribué à y fonder la Société des Arts, institution importante, qui a rendu une foule de services à l'industrie genevoise. De concert avec les mêmes savants et avec MM. Pictet et Vaucher, il a contribué aussi à la formation de la Société de Physique et d'Histoire naturelle, qui est aujourd'hui la Société cantonale correspondante de la Société helvétique. Dans ces diverses réunions, M. Colladon se faisait remarquer par son zèle, son assiduité et le désir qu'il avait de répandre les connaissances utiles. Il y donnait souvent des traductions ou des extraits de mémoires scientifiques publiés en Allemagne. Il a dirigé, sous l'influence de la Société des Arts, la fabrication de la gélatine des os, qui a rendu des services dans la disette de 1817.

Il a présenté plusieurs mémoires à la Société de Physique ; nous citerons surtout : 1° Une analyse chimique de l'*Hipophae rhamnoides*, qui l'a occupé longtemps et dans les baies duquel il avait cru trouver un acide particulier ; 2° Une analyse d'une terre de bruyère qu'on trouve au bois de Sauvablin près Lausanne, terre remarquable par la faculté qu'elle a de bleuir les fleurs de l'Hortensia ; 3° La part qu'il a eue à l'analyse de la matière singulière qui a coloré

en rouge les eaux du lac de Morat et qui a été décrite dans les mémoires de la Société de Genève sous le nom d'*Oscillatoria rubescens*. M. Colladon a toujours aimé la botanique indigène et en particulier l'étude et la culture des plantes alpines. Il en a longtemps élevé chez lui, et à l'établissement du jardin de botanique, il a pris beaucoup de soin pour y introduire ses plantes favorites. Il faisait partie de l'administration de cet établissement et suppléait le directeur lorsqu'il était absent. Il portait dans toutes les relations de la vie le calme qui résulte d'une bonté parfaite, d'un amour zélé pour le bien public et d'un désintéressement complet d'amour-propre. Il avait conservé toutes ses facultés jusque dans un âge avancé ; sa mort a été causée par un coup de froid qu'il a éprouvé pour avoir voulu, dans la rigueur de l'hiver dernier, assister à la cérémonie politique et religieuse du 31 décembre, dans laquelle Genève célèbre son retour à l'indépendance. Il est mort le 2 de janvier suivant. Ses qualités professionnelles le faisaient chérir de tous ceux qui le connaissaient, et les regrets que sa mort a causés ont été universels. Il laisse un fils, M. Frédéric Colladon, qui exerce avec distinction la médecine à Paris et qui est connu dans la science par sa belle monographie du genre Cassia.

Ainsi qu'on voit, aucune allusion n'est faite, en ce texte, aux recherches sur les Souris, qui, pourtant, de toute l'œuvre de Colladon, forment la partie la plus personnelle et digne d'être sauvée de l'oubli.

Jean Rostand.

II. — INFORMATIONS

SUISSE

500e anniversaire de l'université de bâle

Du 27 juin au 3 juillet 1960, la ville de Bâle a célébré le 500e anniversaire de son Université. C'est, en effet, le 4 avril 1460 que le *Studium Generale* avait été solennellement inauguré dans la cathédrale de la ville après que le pape Pie II (l'humaniste Aeneas Sylvius Piccolomini) lui eut accordé ses chartes, le 14 novembre 1459.

Les festivités de 1960 furent marquées par diverses cérémonies, discours, banquets, etc., auxquels participèrent de nombreux universitaires étrangers, dont certains furent nommés docteurs *honoris causa* de l'Université demi-millénaire.

Une remarquable exposition *500 Jahre Universität Basel, 1460-1960* retraçait au *Kunstmuseum* les diverses étapes de cette importante institution.

L'Histoire des Sciences y occupait une vaste place avec de très nombreux et intéressants documents concernant les mathématiciens Johann (1667-1748) et Jacob Bernoulli (1655-1705), Leonhard Euler (1707-1783), Daniel Huber (1768-1829), le Cabinet de Physique de l'Université au xviiie siècle, le chimiste Christian Friedrich Schönbein (1799-1868), qui fut l'élève d'Ampère au Collège de France, etc.

On pouvait également admirer la célèbre *Cosmographie* (1544), de Sebastian Münster (1489-1552).

Pour ce qui est des Sciences naturelles et de la Médecine, citons les documents concernant Vésale dont la célèbre *Fabrica...*, parut à Bâle en 1543, les herbiers admirablement conservés de Félix Platter (1536-1614) et Caspar Bauhin (1560-1624), ainsi que des échantillons de leurs collections.

Des livres rares étaient exposés : le *De animali motu ejusque laesionibus* (Bâle, 1637), de Franciscus de La Boë (Sylvius) (1614-1672) ; l'*Examen anatomicum cochleae terrestris domiportae* (Bâle, 1679), et l'*Apiarium* (Bâle, 1687), tous deux de Johann Jakob Harder (1656-1711) ; le *De cerebro*, de Johann Heinrich Glaser (Bâle, 1680), etc.

On voyait également divers documents concernant Albrecht von Haller (1707-1777), les anatomistes Carl Gustav Jung (1794-1864) et Wilhelm His (1831-1904), dont le microtome était exposé, le physiologiste Friedrich Miescher (1844-1895).

Dans la section consacrée aux Lettres et à la Philosophie étaient

présentés des manuscrits de Jacob Burckhardt et de Frédéric Nietzsche.

Un seul regret : c'est que les organisateurs de cette remarquable exposition n'aient pas fait imprimer un catalogue recensant les richesses exposées.

J. Théodoridès.

YOUGOSLAVIE

L'INSTITUT D'HISTOIRE DES SCIENCES DE ZAGREB

Le 7 mai 1959, l'Académie Yougoslave des Sciences et des Arts a décidé de créer à Zagreb un Institut d'Histoire des Sciences. Plusieurs institutions déjà existantes ont été incorporées dans cet Institut. Il s'agit du Département d'Histoire de la Médecine de l'Académie Yougoslave, de l'Institut d'Histoire de la Pharmacie de la Société Pharmaceutique de Croatie, de l'Institut d'Histoire de la Médecine de l'Université de Zagreb, du Cabinet d'Histoire de la Médecine Vétérinaire, du Musée de la Société des Médecins de la Croatie et du Musée Bošković.

La formation de cet Institut d'Histoire des Sciences vient d'être achevée, grâce, en particulier, à l'activité du Pr. Dr. Željko Marković, président de son Conseil administratif. Le directeur de l'Institut est le Pr. Dr. Mirko Dražen Grmek. Comme collaborateurs scientifiques ont été élus le Pr. Dr. Lavoslav Glesinger, le Dr. et M. Ph. Hrvoje Tartalja, Mme le Dr. et M. Ph. Bosiljka Jardas et M. Žarko Dadić.

L'Institut est une institution scientifique indépendante ayant pour but de promouvoir, d'organiser et de réaliser des recherches dans le domaine de l'histoire des sciences naturelles, mathématiques et médicales, et tout particulièrement en ce qui concerne le développement de ces sciences chez les Slaves du Sud. En outre, l'Institut se propose d'étudier les problèmes de la méthodologie, d'organiser à Zagreb un enseignement supérieur d'histoire des sciences et de collaborer avec des institutions analogues, ainsi qu'avec différentes organisations et personnes, intéressées par les mêmes problèmes, dans le pays et à l'étranger.

L'Institut se compose actuellement de trois sections : Histoire de la Médecine et des Sciences Naturelles, Histoire de la Pharmacie et Chimie, Histoire des Sciences Mathématiques et Physiques. A cette troisième Section appartient le Musée R. Bošković installé sur l'île Lokrum près de Dubrovnik (Raguse).

L'adresse de la Direction de cet Institut est : Institut za povijest prirodnih, matematičkih i medicinskih nauka (Institut d'Histoire des Sciences Naturelles, Mathématiques et Médicales), Demetrova 18, *Zagreb* III, boîte postale 20.

ANALYSES D'OUVRAGES

André-Louis Leroy, *George Berkeley*, Paris, Presses Universitaires de France, 1959, 14 × 22,5 cm, 284 p., 1 h.-t., coll. « Les Grands Penseurs ». Prix : 14 NF.

Dans le domaine de la philosophie anglaise M. Leroy est chez lui. Devant une telle aisance de l'exposé didactique des matériaux, devant une telle maîtrise du sujet, la tâche de celui qui doit rendre compte du livre devient très difficile. En effet, il ne peut guère porter de jugement sur lui. Il peut tout juste dire : « Je l'ai lu, lisez-le, il en vaut la peine. » En même temps il faut signaler au lecteur éventuel que l'ouvrage de M. Leroy s'inscrit dans une certaine tradition qui est celle de la « présentation » d'un philosophe, en l'occurrence Berkeley, à propos duquel on fait des trouvailles intéressantes, sans arrière-pensée et avec un certain goût du pointillisme. Cette façon de procéder peut paraître à certains « discontinue » et pour tout dire dépassée. En tant que lecteur honnête je n'ai rien à y redire, mais ceux qui recherchent surtout des exposés systématiques, fondés sur une théorie de la philosophie même, doivent être avertis que ce n'est pas l'orientation qui domine — cela ne veut pas dire qu'elle soit absente — dans cet ouvrage. Les critiques fréquentes que M. Leroy adresse à M. Gueroult montrent bien où se situe la ligne de partage.

Pour ma part, j'estime que M. Leroy est relativement indulgent envers Berkeley lorsqu'il résume les positions qu'il a prises devant Newton et devant la science. Disons franchement que sur ce plan — et peut-être sur d'autres — le parti pris de Berkeley a été celui de l'ignorance et du conservatisme le plus borné. Je me permets de signaler à M. Leroy certaines imprécisions de l'expression auxquelles un scientifique serait plus sensible qu'un philosophe. Par exemple, p. 88, il est dit que « Newton pensait que la force appliquée n'est qu'une action temporaire, qui disparaît une fois le changement accompli ». Peut-être faudrait-il être plus explicite sur la nature des forces et du changement. D'autre part, peut-on considérer Torricelli — Borelli à la rigueur — comme un contemporain de Newton ? A ce titre, Descartes et Galilée le seraient aussi. De toute façon, la présentation unilatérale des critiques de Berkeley, en l'absence d'exposé, dans une note, des vraies opinions de Newton et de ses contemporains, me semble susceptible d'induire en erreur les étudiants en philosophie. Ceux-ci ne sont déjà que trop enclins à sous-estimer la force intellectuelle des grands savants ; ils se feront une piètre opinion de Newton si les arguments de sens commun de Berkeley — somme toutes peu originaux et d'un niveau peu élevé — leur sont présentés comme dirimants. Mais peut-être tout cela n'a-t-il qu'un faible intérêt pour l'histoire de la philosophie, et il est inutile de gâcher par des critiques la lecture d'un livre qui me semble en tous points excellent.

Serge Moscovici.

Critical Problems in the History of Science, Marshall CLAGETT edit., Madison, The University Press, 1959, 16 × 25 cm, XIV-558 p., ill. Prix : $ 5.00.

Il est toujours bon de s'interroger sur l'état et les perspectives d'une discipline que l'on pratique d'une manière habituelle. Certes, cette quête méthodologique n'est pas, en soi, féconde pour le progrès de la connaissance, mais elle est toujours instructive à un titre ou à un autre. Voici donc qu'un groupe important d'historiens des sciences essaye d'évaluer les problèmes critiques de l'histoire des sciences. L'entreprise méritait d'être tentée. Y ont participé Mmes D. Stimson et M. Boas et MM. Hall, de Santillana, Clark, Dijksterhuis, D. Price, Guerlac, Gillespie, Williams, Kuhn, Cohen, Wilson, Greene et Smith. La seule énumération des noms de ces chercheurs bien connus donne une idée de la diversité des contributions et de leur qualité. La méthode de travail utilisée durant ce colloque était la suivante : un auteur présentait un rapport et deux ou trois autres en faisaient la critique. Je ne saurais rendre compte ici en détail du contenu de cet ouvrage et dois me contenter de faire quelques remarques et de porter un jugement sur quelques aspects particuliers des thèmes abordés.

De sentiment, si je puis dire, j'ai adhéré immédiatement aux exposés de MM. Cohen et Kuhn, le premier portant sur la conservation et le concept de charge électrique et le second sur la conservation de l'énergie comme un exemple de découverte simultanée. Bien informés, compétents, MM. Cohen et Kuhn nous donnent un échantillon de ce qu'il est utile de faire dans un domaine très négligé : celui de l'histoire de la science au XIX^e siècle. On pourrait ajouter que le XVIII^e siècle n'est pas moins ignoré. Bien que d'ordre technique, je pense que c'est là un des enseignements majeurs de cet ouvrage. Il y en a un autre qui me semble sous-jacent : les historiens des sciences *allemands* du XIX^e siècle ont fait des travaux capitaux que nous avons tendance à méconnaître aujourd'hui. Est-ce dû à l'ignorance de la langue allemande, ou à l'absence de rééditions ? Il suffit de regarder la bibliographie des exposés de MM. Cohen et Kuhn pour se rendre compte de l'importance des recherches allemandes dans le domaine qu'ils ont abordé.

Le chapitre de M. de Santillana, consacré au rôle de l'art dans la Renaissance scientifique, emporte aussi mon adhésion. Je l'aurais préféré plus dépouillé, plus dépourvu d'ambiguïtés. Mais tel quel, il est précieux, car il souligne un point de vue qui est souvent négligé.

Le chapitre, rédigé par M. Dijksterhuis sur les origines de la mécanique classique, m'a séduit par sa sobriété et son élégance. Peut-être le sujet était-il trop vaste pour être embrassé en si peu de pages, mais ce qui y est traité l'est avec beaucoup de maîtrise.

J'ai été surpris, agréablement du reste, de voir analyser avec sérieux le problème de *l'enseignement* de l'histoire des sciences. Mme Stimson et M. Guerlac l'ont fait avec la conscience que c'est un problème *réel*. Je crois qu'il n'y a pas beaucoup de pays au monde où les réflexions des auteurs ne susciteront l'envie de ceux qui estiment que l'histoire des sciences doit faire partie de la culture générale des étudiants.

M. Hall soulève, encore une fois et je crois sans plus de succès, la question du rapport entre savant et artisan. Son exposé est documenté et bien ordonné. Je

ne puis cependant pas partager l'admiration de M. Merton pour le travail de M. Hall. D'abord, je n'y ai rien remarqué de nouveau ou qui n'ait déjà été dit. Ensuite, je crois que le problème des rapports entre technique et science est abordé par le petit bout, celui du savant et de l'artisan. Or le lien entre deux catégories de personnes ne peut être rendu clair que si l'on examine d'une manière globale le fonctionnement des institutions et de la société. Après tout, il n'est pas nécessaire que l'artisan influence le savant, il suffit qu'une idéologie et les besoins de la société *unissent* et *différencient* des individus pour que l'on puisse voir là, non pas une cause, mais un symptôme de l'interaction entre technique et science. Sinon on tombe dans l'imprécision, et M. Johnson a eu raison de souligner les incertitudes de définition de M. Hall. Certes, les relations entre l'activité scientifique et l'activité technique constituent un des « problèmes critiques » de l'histoire des sciences, mais la voie choisie par M. Hall n'est pas la meilleure. En disant cela, je crois être d'accord avec M. Crombie, qui soulignait que le nombre de facteurs ayant déterminé la naissance des sciences modernes est assez grand. Pourtant, me semble-t-il, si on veut arriver à une conception cohérente, il ne suffit pas d'affirmer l'existence d'une multiplicité de facteurs, il faut les *ordonner*.

M. Crombie lui-même contribue à ce volume par un exposé sur la signification pour la révolution scientifique, des discussions médiévales. Exposé clair, riche et d'une qualité exceptionnelle. La plupart des points de vue développés ont recueilli mon adhésion, l'argumentation de M. Crombie étant très convaincante. Peut-être ai-je regretté l'absence d'analyses portant sur les points suivants : *a)* Dans quelle mesure la philosophie du Moyen Age a-t-elle été aussi un *obstacle* aux progrès réalisés par les savants du XIII^e^ siècle ; *b)* Pourquoi n'envisage-t-on pas les XIII^e^ et XIV^e^ siècles *aussi* comme des siècles de ré-apprentissage de la science alexandrine. Entre le XIII^e^ et le XIV^e^ siècles, quel a été le rôle exact de ces philosophes, scolastiques ou non ? Que sont devenus pour les sciences mécaniques et mathématiques, les enseignements de Platon et ceux de Démocrite ? Ce qui nous a été présenté comme un progrès — le nominalisme, les études méthodologiques médiévales — n'est-il pas en même temps le fruit d'un échec ? M. Crombie a raison d'insister sur ce qui aurait dû être depuis longtemps évident : le débat sur la signification de la pensée médiévale pour l'origine de la science moderne devient un débat qui concerne moins des faits historiques que des interprétations philosophiques. Peut-on distinguer ces deux aspects du travail de l'historien des sciences ? Certainement pas. On ne s'étonnera donc pas qu'à côté d'une riche moisson de faits, les recherches sur les débats scientifiques au Moyen Age nous aient fourni aussi quelques images très déformées de la réalité.

L'exposé du P^r^ Clark est de nature épistémologique. Partant de quelques remarques d'ordre logique sur l'importance de la démarche hypothético-déductive dans les sciences, le P^r^ Clark souligne qu'il y a deux façons de faire l'histoire des sciences « du haut vers le bas » et du « bas vers le haut ». Ses préférences vont nettement vers la première forme qu'il considère, à tort, comme négligée. Pour ma part, je ne suis pas convaincu que l'on puisse opérer des distinctions de cette nature. Celle-ci reviendrait à séparer une histoire des sciences théorique d'une histoire des sciences « érudite ». Or, à ce qu'il me semble, une réflexion soutenue sur un problème d'histoire des sciences nous amène non seulement à découvrir des matériaux nouveaux, mais aussi à réinterpréter ceux qui existent. Et s'il y a des historiens qui consacrent leur existence à réunir des matériaux sans les

structurer, c'est qu'ils ont une théorie de départ trop faible. Accepter la séparation entre une histoire « d'en haut » et une histoire « d'en bas » revient à épouser un *formalisme* qui substitue à la compréhension d'une œuvre, la critique pointilleuse de ses caractères. Critique qui est d'autant plus facile à faire que l'œuvre est plus ancienne. Ainsi le Pr Clark, en prenant l'exemple de Copernic, montre combien il s'est contredit en considérant une sphère *immuable* d'étoiles fixes, tout en ayant affirmé que le mouvement des planètes est dû à leur forme sphérique. Avec raison, l'auteur de cette remarque souligne que la démarche de Copernic n'est pas en accord avec les préceptes de construction théorique. Mais si on replace l'œuvre de Copernic dans son contexte et qu'on l'envisage d'une façon génétique, on voit qu'un savant ne fait pas que *construire* une théorie, il *résout* aussi un problème. Pour me résumer, je ne crois pas qu'on ne doive pas mettre en évidence les caractères techniques et contradictoires d'une œuvre, bien au contraire, mais à condition de ne pas s'y arrêter, de ne pas admettre que c'est là tout le travail de l'historien des sciences.

Et, comme pour illustrer ce procédé formel dans l'histoire des sciences, nous pouvons choisir l'article de M. D. Price intitulé : *Contra-Copernicus*. Article techniquement impeccable, écrit dans un style « mathématique » et avec un ton de supériorité agressive : le Pr D. Price faisant des remontrances à l'élève Copernic. D. Price considère que le premier chapitre : « Des révolutions » est quelque peu superflu et que c'est là un exercice que l'élève Copernic a fait pour son bon plaisir, mais non point quelque chose de sérieux en relation avec *the real business of technical mathematics* (l'objet réel des mathématiques techniques) (p. 205). Maintenant, si on l'envisage en expert calme et averti, en bon mandarin de la chose « intellectuelle », le travail de Copernic n'a pratiquement aucune valeur. D'où le titre de l'article *Contra-Copernicus*. Il n'est pas nécessaire de discuter ici la légèreté d'une part et le caractère bien fondé de l'autre, des assertions de D. Price. La seule chose qui mérite d'être retenue, c'est le manque de compréhension historique d'une œuvre, manque de compréhension qui ressort d'un article bien écrit et suivant une construction élégante. Heureusement les mathématiciens — et non pas les philosophes comme D. Price semble le croire — du XVIe et du XVIIe siècles n'ont pas regardé Copernic comme un élève, mais comme un maître.

Les exposés de MM. Gillispie, Williams, Wilson, Greene, Smith, sur l'histoire de la biologie et l'histoire sociale, m'ont semblé solides, ainsi que celui de Miss Boas sur la théorie chimique au XVIIIe siècle.

Ce livre sur les problèmes critiques de l'histoire des sciences mérite d'être lu avec beaucoup d'attention par celui qui réfléchit à ce que doit être cette discipline.

Serge Moscovici.

V. P. Zoubov, *Istoriografiya estestvennyh nauk v Rossii (XVIII v. pervaya polovina XIX v.)*, Moscou, Académie des Sciences, 1956, 27,5 × 17 cm, 576 p.

Il s'agit d'une histoire de l'*Historiographie des Sciences de la Nature en Russie pendant le XVIIIe siècle et la première moitié du XIXe siècle*. On est étonné par l'érudition vraiment encyclopédique de l'auteur, ses connaissances des détails, mais encore plus par son art d'ordonner ces nombreux faits et d'en présenter une vision vaste, intégrale.

En russe, comme d'ailleurs dans les autres langues slaves et en allemand, le terme « Science » a une signification plus large qu'en français ou en anglais. Au concept désigné en français par le mot « Sciences » tout court, correspond en russe, plus ou moins, l'expression « Sciences naturelles ». Dans son livre, V. P. Zoubov prend en considération les sciences mathématiques, physiques, chimiques, géographiques, cosmographiques, biologiques et médicales. La plus grande partie du livre est consacrée à l'exposition de l'histoire de la géographie et des sciences mathématiques et physiques. Une place secondaire est réservée aux sciences biologiques et médicales. Cependant, le livre reflète exactement la situation réelle de l'historiographie des sciences dans la Russie d'autrefois. Nous voulons seulement remarquer qu'un nombre considérable d'historiens de différentes sciences ont été des médecins.

Le livre est divisé en quatre parties embrassant quatre époques successives du XVIII^e siècle et de la première moitié du XIX^e siècle. Il commence par la présentation de l'activité du géographe V. N. Tatichtsev (1686-1750) qui fut le premier historien des sciences en Russie, et par une analyse détaillée des travaux de l'Académie des Sciences de Pétersbourg (fondée en 1724). C'est cette Académie qui donne une empreinte caractéristique à la vie scientifique en Russie du XVIII^e siècle. Un autre centre également important fut l'Université de Moscou (fondée en 1755). Sous l'influence profonde de Newton et de Voltaire, et dominés par le puissant personnage de Lomonossov, les savants russes de la deuxième moitié du XVIII^e siècle ont été, en tant qu'historiens des sciences, occupés davantage par la divulgation des idées scientifiques que par les recherches critiques. Le travail scientifique dans ce domaine prend un grand essor pendant la période de 1820 à 1860. La quatrième partie du livre, traitant de cette période, est plus volumineuse que l'ensemble des trois autres parties. Le changement dans la bibliographie russe d'histoire des sciences ne fut pas seulement d'ordre quantitatif. On note l'apparition de certains ouvrages fondamentaux qui ont conservé jusqu'à nos jours leur utilité.

Avec beaucoup de soin, V. P. Zoubov donne des informations sur les traductions russes des auteurs classiques et des plus importants savants occidentaux.

L'abondance des faits, surtout les indications bibliographiques et leur grande précision, font de ce livre un manuel indispensable à celui qui s'intéresse à l'histoire des sciences chez les Slaves de l'Est. Un seul défaut sérieux est à noter : c'est l'absence d'un index par matières.

L'historiographie russe des sciences est très peu connue en Occident. Le livre de V. P. Zoubov mériterait d'être traduit dans une langue occidentale.

M. D. GRMEK.

Charles MUGLER, *Dictionnaire historique de la terminologie géométrique des Grecs.* T. I : *Introduction, Répertoire géométrique, Lettres A à K.* T. II : *Logos à la fin.* Paris, Gauthier-Villars et C. Klincksieck, 1958 et 1959, 19 × 28 cm, 455 p. et 184 p., « Études et commentaires », XXVIII et XIX. Prix : 132 NF et 88 NF.

L'ouvrage débute par un avant-propos où est rappelé l'historique de l'étude de la terminologie des géomètres grecs. Le premier travail cité dans ce domaine est

le *Lexicon mathematicum*, que fit paraître Conrad Dasypodius, à Strasbourg, en 1579. Viennent ensuite les index des éditeurs de textes géométriques. « Mais malgré l'ampleur de l'information de certains de ces index, ils ne renseignent que sur une partie restreinte de la littérature géométrique... ce qui manque encore aujourd'hui, c'est une vue d'ensemble de la langue des géomètres grecs et de son évolution des présocratiques au VI^e^ siècle de notre ère. Le dictionnaire que je présente... doit son origine au désir de combler cette lacune... »

Après une introduction de 26 pages sur la langue des géomètres grecs, introduction qui étudie en particulier l'évolution sémantique du vocabulaire, son enrichissement, sa tendance à l'abstraction, etc., et un répertoire géométrique de 5 pages, commence le dictionnaire proprement dit.

Les articles y sont classés dans l'ordre alphabétique. Le mot grec est suivi de ses traductions en latin, français, allemand, anglais. Il est ensuite expliqué en français, et les passages où il figure chez les divers auteurs sont donnés en grec avec, assez souvent, une traduction française. L'ordre dans lequel sont cités les auteurs est généralement Euclide (les *Éléments* et les *Données*), Archimède, Apollonius, Pappus, Proclus. En fin d'article sont cités les pré-euclidiens, qui sont surtout Platon, Aristote, Eudème d'après Simplicius, Autolycus. La référence est indiquée avec précision, dans les éditions critiques modernes.

Les textes dépouillés sont, dans l'ensemble, des textes géométriques au sens restreint du mot. C'est ainsi que l'on chercherait vainement l'article ἀριθμος, bien que trois livres des *Éléments* d'Euclide soient consacrés à l'arithmétique théorique. C'est ainsi encore qu'à l'article ὁρίζων, le premier auteur cité est Archimède, et, au dernier alinéa, le pré-euclidien Autolycus, alors que la définition du mot dans les *Phénomènes* d'Euclide est passée sous silence.

On comprendra aisément que l'auteur devait se limiter, et que toute limitation comporte un peu d'arbitraire. Le dictionnaire construit, certainement, grâce à un travail très long et minutieux, est donc très strictement géométrique, et non mathématique.

De même la présentation dans les articles est statique, l'étude de l'évolution sémantique étant réservée, en général, à l'introduction. A ce point de vue, le titre, *Dictionnaire historique*, ne doit pas prêter à confusion. Encore moins doit-on s'attendre à un exposé historique des traductions latines, françaises, allemandes ou anglaises.

A cet égard, reproche de peu d'importance, on ne voit pas clairement les critères suivis par l'auteur dans le choix de ses traductions en début d'article. Prenons, par exemple, le mot παραλλάττειν dont il donne les équivalents *Excedere*, passer à côté, à travers, *hindurchgehen*, *vorbeigehen*, *to fall beside*. Le premier passage où Euclide utilise cette expression est dans la proposition I, 8. Dasypodius, en 1564, la traduit *diversum habuerint situm* (il s'agit de deux segments de droite). Peyrard écrit « prenaient une autre direction » et Heath *fall beside*, comme l'auteur. Je n'ai pas contrôlé la traduction allemande, mais il semble bien que si, en anglais, Heath est généralement suivi, aucune règle n'est respectée dans la traduction française.

On pourrait aussi relever quelques erreurs de plume, comme dans l'article τριχοτομεῖν où on lit, en traduction d'un passage de Pappus : « mais Nicomède résolut le problème de la quadrature du cercle au moyen d'une conchoïde, courbe

qui lui servit aussi pour la trisection de l'angle ». Il s'agit en fait, non de la quadrature du cercle, mais de l'insertion de deux moyennes.

Dans un travail de cette ampleur, quelques bavures sont inévitables. Félicitons l'auteur d'avoir mis à la disposition des travailleurs un outil solide et précieux.

Jean ITARD.

Vito CARAVELLI, *Le Traité des hosoèdres*, traduit sur le texte latin original par Paul VER EECKE avec des notes. Paris, Librairie scientifique A. Blanchard, 1959, 18,5 × 27,5 cm, 24 p. Prix : 3,50 NF.

Cette traduction parut dans *Mathesis* (t. 49), en 1935.

Vito Caravelli né en 1724 dans la Basilicate, mourut à Naples en 1800. Prêtre, sa longue carrière fut vouée à l'enseignement.

L'étude traduite par Paul Ver Eecke figure en fin d'un traité dans la tradition archimédienne : *Archimedis theoremata de circuli dimentione, Sphaera et Cylindro aucta ac faciliori methodo demonstrata, quibus accedunt theoremata architectis perutilia de novis solidis sphaeroïdalibus*, Neapoli, 1751.

Dans la lettre à Ératosthène, encore inconnue au XVIII^e siècle, Archimède s'intéresse entre autres à un solide, intersection de deux cylindres inscrits dans un même cube. C'est un des hosoèdres de Caravelli. Paul Ver Eecke écrivait : « Les hosoèdres de Caravelli semblent complètement oubliés. » Signalons donc, pour la petite histoire de la géométrie, les études analogues du comte Léopold Hugo, publiées dans plusieurs brochures : *Théorie des Cristalloïdes élémentaires* (Paris, 1867) ; *Les Cristalloïdes à directrice circulaire* (Paris, 1867) ; *Les Cristalloïdes complexes à somment étoilé* (Paris, 1873) ; *Essai sur la Géométrie des Cristalloïdes* (Paris, 1873) ; *La question de l'Equidomoïde et des Cristalloïdes géométriques* (Paris, 1875).

« Analyste ! écrit le neveu du grand poète, rends hommage à la Vérité, sinon l'Equidomoïde vengeur viendra peser, la nuit, sur ta poitrine anxieuse. »

On pourra trouver des détails sur cette littérature géométrico-romantique dans les *Curiosités géométriques* de E. Fourrey (Paris, 1907).

Jean ITARD.

Claude-Gaspar BACHET sieur de Méziriac, *Problèmes plaisants et délectables qui se font par les nombres*, 5^e édition revue, simplifiée et augmentée par A. LABOSNE ; nouveau tirage augmenté d'un avant-propos par J. ITARD, et d'un portrait de l'auteur, Paris, Librairie scientifique Albert Blanchard, 1959, 13,5 × 18,5 cm, VIII-242 p. Prix : 9 NF.

Les historiens de la théorie des nombres auraient désiré avoir une réédition en fac-similé de l'édition de 1612, ou mieux de celle de 1624. L'éditeur, à qui les scientifiques et les historiens des sciences doivent déjà beaucoup, a reculé devant les aléa d'une telle entreprise. Le public curieux des récréations mathématiques

était, au contraire, assez nombreux pour qu'un nouveau tirage des éditions de Labosne soit effectué.

Par mesure de précaution, et afin que l'on rende à Bachet ce qui est à Bachet, et aux autres ce qui est à eux, j'ai écrit un avant-propos qui résume l'article paru au tome I, n° 1, de notre *Revue d'Histoire des Sciences*, et dû à la collaboration du Dr Georges Collet et de moi-même.

Jean ITARD.

Édouard LUCAS, *Récréations mathématiques*. Nouveau tirage, Paris, Librairie scientifique Albert Blanchard, 1960, 13,5 × 18,5 cm, vol. I : XXIV-254 p. ; vol. II : 245 p. ; vol. III : VII-195 p. ; vol. IV : VIII-266 p. Prix, le volume : 8 NF.

L'historien des sciences, celui des mathématiques plus particulièrement, doit porter une partie de son attention sur l'histoire des jeux. Il y a là, en effet, une activité humaine qui, à toutes les époques et depuis la plus haute Antiquité, a exercé une influence non négligeable sur le développement scientifique.

A ce point de vue, le nouveau tirage des *Récréations* de Lucas est le bienvenu.

Le tome I de cet ouvrage parut en 1882 et le tome II en 1883. Ils furent réédités en 1893. Le nouveau tirage est fait sur cette seconde édition. Édouard Lucas avait succombé aux atteintes d'une courte maladie, le 3 octobre 1891, à quarante-neuf ans. Une Commission de la Société mathématique de France, dont il avait été vice-président, Commission composée de H. Delannoy, C. A. Laisant et E. Lemoine, en procédant au dépouillement et au classement de ses manuscrits scientifiques, découvrit deux nouveaux volumes de *Récréations mathématiques*, à peu près entièrement préparés. Ce sont le vol. III, édité en 1893 et le vol IV, qui parut en 1894.

On peut trouver, sur les travaux mathématiques d'Édouard Lucas, des renseignements à peu près exhaustifs dans un article de Duncan Harkin (On the mathematical work of François-Édouard-Anatole Lucas, *L'Enseignement mathématique*, 2e série, t. III, fasc. 4, Genève, 1957).

Qui voudra, d'autre part, étudier l'histoire des jeux scientifiques trouvera, en fin du premier volume de Lucas (p. 237 et suiv.), une très riche bibliographie.

Jean ITARD.

EUCLIDE, *L'Optique et la Catoptrique*. Œuvres traduites pour la première fois du grec en français par Paul VER EECKE, avec une introduction et des notes. Nouveau tirage, Paris, Librairie scientifique Albert Blanchard, 1959, 19 × 28 cm, XLVIII-126 p. Prix : 28 NF.

L'ouvrage parut pour la première fois à Bruges, éditions Desclée de Brouwer, en 1938. La traduction est faite sur le texte établi par J. L. Heiberg, septième volume de son édition gréco-latine d'Euclide : *Euclides Optica, Opticorum Recensio Theonis, Catoptrica, cum Scholiis antiquis*, Leipzig, 1895. L'introduction à la traduction française résume et commente les propositions du texte et fait l'historique

critique des paraphrases et éditions, de Giorgio Valla (1501) et Zamberti (1505) à Heiberg, en passant par Jean Pena (1557), Dasypodius (1557 et 1571), la traduction italienne d'Egnatio Danti (1573), celle, espagnole, de Pedro Onderiz (1585), le traité de François Aguilon (1613), le cours d'Hérigone (1634), la publication par Érasme Bartholin (1657) du *Traité d'optique* d'Héliodore de Larisse, la traduction française de *L'Optique* d'Euclide par Fréart de Chantelou (1663), l'édition d'Oxford de 1703, etc.

Jean Itard.

Leopoldina Luzio, *Catalogo dei Globi Antichi conservati in Italia*, fasc. 1 : *I Globi Blaviani*. Préf. di Roberto Almagia, Firenze, Leo S. Olschki, 1957, 17 × 24,5 cm, viii-56 p., 52 pl., coll. « Istituto e Museo di Storia della Scienza. Biblioteca », I.

Maria Luisa Bonelli, *Catalogo dei Globi Antichi conservati in Italia*, fasc. 2 : *I Globi di Vincenzo Coronelli*. Préf. di Roberto Almagia, Firenze, Leo S. Olschki, 1960, 17 × 24,5 cm, vi-142 p., 1 fr. en couleurs, 36 pl., 1 tableau, coll. « Istituto e Museo di Storia della Scienza. Biblioteca », III.

L'établissement de ces catalogues des globes terrestres et célestes, conservés en Italie, est né d'une double initiative internationale : celle de la *Commission de Bibliographie* de *l'Union internationale d'Histoire et de Philosophie des Sciences*, présidée par Mrs. D. W. Singer, et celle de la *Commission pour la Bibliographie des Cartes anciennes*, créée par l'*Union géographique internationale*. L'uniformisation, qui avait été décidée (cf. *Arch. Intern. Hist. Sc.*, 1951, t. IV, n° 16), au sujet des normes de description des globes, trouve ici de scrupuleuses applications.

Le premier volume est consacré, par L. Luzio, aux globes de W. J. Blaeu (1571-1638), le célèbre astronome et constructeur de globes hollandais, qui, après Stevin, devait être le premier à faire un exposé scientifique du système de Copernic.

Le second volume, dû à M. L. Bonelli, est consacré aux globes du géographe et astronome vénitien Vincenzo Coronelli (1650-1718), qui fut l'un des plus grands constructeurs de globes que connut l'Italie. Ce n'étaient pas les seuls mérites de Coronelli, puisque, historien, encyclopédiste, lecteur de géographie à l'Université de Venise, astronome de la République, il fut, aussi, le fondateur et l'animateur de l'*Académie des Argonautes*.

La reproduction photographique de ces globes, dans un espace à deux dimensions, ne saurait, évidemment, traduire toute leur précision et leur richesse. Elle permet, cependant, d'admirer leur beauté et, parfois, le pittoresque de leurs allégories et la grâce de leur composition.

Il faut féliciter les auteurs des catalogues, non seulement pour le soin et le goût apportés à leur présentation, mais aussi pour la précision bibliographique et l'extrême exactitude apportées dans une difficile description.

Suzanne Colnort.

J. Mac Lean, *De historische Ontwikkeling der Stootwetten van Aristoteles tot Huygens*, Rotterdam, Druk D. Van Sijn et Zonen, 1959, 16 × 26 cm, 72 p., fig.

Ne sachant pas le hollandais, c'est par une « traduction » mentale de la monographie de M. J. Mac Lean en langues allemande, anglaise et « géométrique » que j'ai essayé de saisir son intérêt. La connaissance des travaux qui y sont traités m'a été d'un grand secours. La tentative, qui consiste à faire un examen succinct des théories du choc depuis Aristote jusqu'à Huygens, est intéressante. Pour cette raison, la lecture de cette monographie et sa publication comme une série d'articles en une langue plus « universelle » se recommande. Toutefois, il faut bien reconnaître que ce n'est pas un travail d'histoire des sciences, mais un relevé correct, clair et utile des recherches faites sur le choc des corps pendant une période donnée. Je m'explique. M. J. Mac Lean n'essaye pas de nous montrer comment, par un développement interne des problèmes et des solutions, certaines théories ont évolué « d'Aristote à Huygens ». Je crains même qu'une telle filiation ne soit pas tout à fait exacte si on la soumet à une critique interne. L'ordre dans lequel les auteurs sont cités m'a un peu étonné. Par exemple, je ne vois pas pourquoi on parle de Leibniz et de Mariotte avant Huygens. La place accordée à Borelli et à Léonard de Vinci me semble un peu trop modeste. On trouvera cependant, dans cette monographie, quelques pages intéressantes sur Torricelli, Fabri et Pardies. En résumé, un travail utile.

Serge Moscovici.

J. Gillis, *De geschiedenis van de benoeming van August Kekulé te Gent en de oprichting van het eerste onderrichtslaboratorium voor scheikunde in Belgie*, Bruxelles, Éditions de la « Koninklijke vlaamse Academie voor wetenschappen, letteren en schone kunsten van België », Paleis der Academiën, 1959, 101 p., 60 fig.

Si, sur Kekulé lui-même, cet opuscule n'apporte pas grand-chose que nous ne sachions déjà, grâce au livre classique (d'ailleurs fort rare en France) d'Anschütz, il n'empêche que les documents qu'il nous livre ne sont pas dépourvus d'intérêt, bien au contraire.

On connaît les circonstances de la nomination de Kekulé à la chaire de Chimie générale de l'Université de Gand, et l'heureuse influence qu'elle exerça sur le développement de la chimie en Belgique.

A la suite du décès du titulaire Mareska, en mars 1858, la chaire avait d'abord été offerte à J. S. Stas, qui la refusa pour des raisons de convenance personnelle. Mais Stas, aussi consciencieux qu'influent, prit le problème posé par la succession de Mareska très au sérieux : d'où ses multiples enquêtes auprès de ses collègues de France et d'Allemagne pour trouver un candidat répondant à la haute idée qu'il se faisait du rôle du futur professeur de Gand. L'histoire finit bien : ce fut Kekulé, recommandé par Bunsen et Liebig, qui obtint le poste.

Le petit livre de J. Gillis, en exhumant quelques-unes des lettres échangées à ce propos, éclaire d'une lumière indiscrète le rôle de J.-B. Dumas dans cette affaire. Et, à mon sens, sur ce point, ces documents vont bien au delà de l'anecdote.

A Stas, qui demande des conseils à son ancien maître, Dumas donne le nom de trois candidats français possibles, dans l'ordre : Maumené, Dossoz et Sacc.

L'histoire de la chimie, que je sache, n'a pas retenu le nom des deux derniers, quant à Maumené... Cet auteur de la délirante *Théorie générale de l'action chimique*, qu'il qualifie lui-même, dans une lettre à Dumas, d' « œuvre la plus importante des temps modernes » (1), était incontestablement un déséquilibré. Et Dumas le savait : tout montre qu'il en avait peur. Maumené avait été candidat à la chaire de Chimie de Lille, laissée vacante par Pasteur ; à cette occasion, il écrivait à Dumas :

« Voudrez-vous enfin tenir une parole dont l'exécution me rendrait si fier et si satisfait, ou bien aurai-je encore à subir les sarcasmes de quelques personnes à qui j'ai confié mes espérances et qui me disent : « Vous ne connaissez donc pas « M. Dumas, il fait les mêmes promesses à tout le monde et il les tient *quand il y « pense* » (2). »

Finalement, pour des raisons qui ne transparaissent pas, mais qui n'ont sans aucun doute rien à voir, ni avec le prestige de la France, ni avec celui d'une chimie valable, Dumas recommanda l'ancien collaborateur belge de Mareska, Donny qui, selon Stas, était ignorant et bredouillait en public. Il arriva même, après la nomination de Kekulé, que l'illustre sénateur suscita une sorte de pétition en faveur du médiocre Donny, à laquelle souscrivirent Chevreul et Pelouze. L'honnête Stas n'en revint pas. Tout cela est bien pénible, et révélateur d'un état d'esprit qui fit, en France même, beaucoup de mal.

L'opuscule de J. Gillis est fort bien imprimé ; la langue flamande n'est pas un obstacle à sa diffusion, puisque les lettres sont publiées dans les langues originales et qu'un résumé en français dégage l'essentiel de son contenu. Soixante illustrations, à la fin de l'ouvrage, ajoutent encore au caractère vivant de cet ensemble de documents sur Kekulé... et quelques autres.

J. Jacques.

H. L. Li, *The Garden Flowers of China*, New York, The Ronald Press Company, 1959, 15 × 21 cm, VI-240 p., nombreuses ill., Prix : $ 6.50.

M. H. L. Li, botaniste chinois, de formation américaine (il est docteur de l'Université Harvard et professeur associé de Botanique à l'Université de Pensylvanie), a écrit, à l'intention des amateurs de fleurs d'Europe et d'Amérique, ce volume, d'une présentation soignée, consacré aux fleurs des jardins de Chine, spécialement à celles qui, originaires de Chine, sont répandues dans les jardins du monde entier. Si on supprimait de nos cultures les productions florales qui nous viennent de Chine, nous serions grandement appauvris. Nous nous verrions privés des Chrysanthèmes, des Camellias, du *Dicentra spectabilis*, de maintes espèces de Pivoines, d'*Hemerocallis*, de Rosiers, de Lis, de Jasmins, *Hibiscus*, Rhododendrons, *Syringa*, *Daphne*, *Weigelia*, Spirées, *Begonia*, Œillets, Primevères, Iris, Anémones,

(1) Archives de l'Académie des Sciences. Lettre de Maumené à J.-B. Dumas, 1869.
(2) Archives de l'Académie des Sciences. Lettre de Maumené à J.-B. Dumas, du 8 janvier 1857.

et de beaucoup d'espèces d'arbres et d'arbustes cultivés pour leurs floraisons : Pruniers, Cerisiers, Pommiers, *Viburnum*, *Magnolia*, *Osmanthus*, *Gardenia*, *Koelreuteria*, *Kerria*, *Deutzia*, *Cornus*, *Buddleya*, Glycine, *Akebia*, etc. De nombreuses plantes de nos jardins proviennent d'hybridations dont les jardins de Chine ont fourni les progéniteurs.

Toutes ces plantes, et bien d'autres, sont étudiées au point de vue de leur origine souvent lointaine, de la place qu'elles tiennent éventuellement dans l'art, la littérature, le folklore de Chine, et de leur utilisation comme plantes médicinales ou ornementales. Leur nom scientifique latin, leur nom chinois, et la transcription de ce dernier en caractères chinois, sont fournis. Une table des dynasties chinoises et de leur correspondance avec notre calendrier facilite la compréhension des indications chronologiques. Des figures (50) empruntées souvent aux vieux textes chinois achèvent de conférer à l'ouvrage un caractère attrayant.

F. Moreau.

Arthur Hughes, *A History of Cytology*, Londres, Abelard-Schuman, 1959, 14,5 × 23 cm, x + 158 p., 12 pl. h. t. Prix : 21 shillings.

Cet ouvrage vient combler une lacune, car il n'existait pas jusqu'ici de livre consacré à l'histoire de la Cytologie, branche fondamentale de la Biologie générale.

Il est divisé en six chapitres. Le premier (pp. 1-29) traite du développement des observations microscopiques de cellules animales et végétales (la Cytologie est née en même temps que le microscope), dont les pionniers furent Stelluti, Robert Hooke, Leeuwenhoek, Malpighi et Grew.

Le second chapitre (pp. 29-55) est consacré au très important concept de la Théorie cellulaire et aux diverses étapes de son élaboration. Contrairement à de nombreux historiens de la Biologie, Hughes y cite l'important apport de Dutrochet (1776-1847), mais passe sous silence Raspail (1794-1878), qui, dès 1827, faisait d'importantes observations en Cytologie végétale et même en Cytochimie.

Dans le chapitre III (pp. 55-77) est exposé l'historique des découvertes relatives à la division cellulaire et à la formation des cellules de la lignée germinale.

Le chapitre IV (pp. 77-111) traite de la question biologique fondamentale de l'Hérédité depuis Darwin et du rôle du noyau dans la transmission des caractères héréditaires.On y trouve exposées en détail la curieuse théorie darwinienne de la pangenèse, ainsi que les recherches cytologiques de Weismann et d'autres biologistes qui devaient préciser le substrat cellulaire de l'hérédité mendélienne et marquer la naissance de la Cytogénétique.

Dans le chapitre V (pp. 112-131) est donné un bon historique des recherches sur le cytoplasme, jalonnées par les travaux de Dujardin, Ehrenberg, Bütschli, Altmann et autres.

Le sixième et dernier chapitre (pp. 131-150) rappelle l'importance de la Théorie cellulaire en Biologie générale.

Chaque chapitre est suivi d'un nombre important de références bibliographiques, mais conformément à une fâcheuse habitude anglo-saxonne, les titres des nombreux articles de revues cités ne sont pas indiqués, seuls figurant ceux des périodiques, ce qui empêche le lecteur de savoir le sujet exact de ces articles. Notons, en outre, deux importants ouvrages français qui ne sont pas mentionnés :

celui de Marc Klein, *Histoire des origines de la Théorie cellulaire* (Paris, 1936) et l'*Atomisme en Biologie*, de Jean Rostand (Paris, 1956).

L'ouvrage est complété par douze excellentes planches hors texte, commentées en détail, reproduisant d'anciennes figures de cellules végétales et animales. Il comporte, de plus, un index des noms cités et des sujets étudiés.

Jean Théodoridès.

Pericle di Pietro, *Breve storia dell'Ematologia*. Padoue, Institut d'Histoire de la Médecine de l'Université, 1958, 24,2 × 17 cm, 156 p., 15 fig.

Ce livre paraît un an après celui de C. Dreyfus sur le même sujet (cf. cette revue, t. XII, 1, pp. 88-89).

Il est divisé en quatre chapitres.

Le premier (pp. 9-63) est consacré au développement historique des connaissances sur le sang depuis l'Antiquité jusqu'au XIX^e siècle. L'auteur y rappelle les observations fondamentales de Malpighi, Swammerdam, Leeuwenhoek, Schwencke, Morgagni, Spallanzani, Hewson, Donné, Wharton Jones, Andral, Bizzozero, Hayem, etc. Ce chapitre est complété par 105 références bibliographiques.

Le second chapitre (pp. 65-85) est consacré à l'histoire de la technique hématologique (comptage des globules, hémométrie, coloration du sang, biopsie des organes hématopoiétiques), à laquelle sont associés les noms de Malassez, Potain, Romanowsky, Giemsa et autres. 56 références sont données en annexe à ce chapitre.

Le troisième chapitre (pp. 87-118) traite de l'histoire des principales maladies du sang (anémie pernicieuse progressive, chlorose, anémie méditerranéenne, maladie de Vaquez, leucémie, maladie de Hodgkin, hémophilie, maladie de Werlhoff) à l'étude desquelles contribuèrent Addison, Burmer, Ehrlich, Minkowski, Chauffard, Vaquez, Donné, Virchow, Hodgkin, Werlhoff, etc.

Ce chapitre est complété par 141 références bibliographiques.

Le dernier chapitre (pp. 119-138) traite du développement des thérapeutiques hématologiques et comporte 92 références.

Une bibliographie générale (pp. 139-150), récapitulant les principales références citées à chaque chapitre et un index des auteurs cités (pp. 151-156), terminent cet ouvrage utile et concis qui renferme l'essentiel du sujet.

J. Théodoridès.

George E. Arrington, *A History of Ophtalmology*, NewYork, M. D. Publications I.N.C., 1959, 28 × 12 cm, 174 p.

L'auteur est un ophtalmologiste qui, dans une collection destinée à ses confrères, a voulu présenter une courte histoire de sa discipline, se terminant par un tableau chronologique des différents événements intéressant l'ophtalmologie. Le livre est clair, didactique, mais il lui était impossible, dans ses courtes limites, de relater

tout ce qui s'est passé d'important en ophtalmologie. Notons, au passage, que l'ophtalmologie sino-japonaise a été exclue et la byzantine minimisée. Peut-être eût-il été correct de lui rattacher Maurolico, dont le *Photismi de lumine* (1597) a été traduit en anglais par Crew (1940), et qui aurait été, en réalité, un Byzantin fixé à Messine. Imhotep est donné comme le premier médecin connu, alors que Frans Jonckheere a montré qu'il n'avait jamais été médecin.

L'ophtalmologie arabe est très simplifiée. Aucune allusion n'est faite aux diagrammes anatomiques qui précèdent la plupart des traités connus. Ils établissent une transition entre les schémas alexandrins et les dessins anatomiques de la Renaissance. Pas d'allusion non plus à la succion de la cataracte (Tsabet ben Borra, 826-901), technique arabe qui ne paraît pas avoir été connue des Grecs.

Léonard de Vinci est peut-être trop développé par rapport au Moyen Age, où Witelo, contemporain de Bacon et continuateur d'Alhazen, n'est pas cité. Roger-Benvenuto Grassi, le plus célèbre des ophtalmologistes, non musulmans, du Moyen Age (Sarton) est localisé au XII^e^ siècle, alors qu'il semble qu'il ait fleuri vers 1470 et que son *De oculis eorumque egritudinibus et curis* (1475) ait été le premier traité imprimé d'ophtalmologie (Ralph Major). Si Vésale a eu le mérite de rompre avec Galien, ce n'est pas à propos de l'œil. Il a nié l'entrecroisement des nerfs optiques dans le chiasma, mais vu qu'ils n'étaient pas creux ; admis un muscle oculomoteur à 7 faisceaux par ignorance des oculomoteurs latéraux ; ignoré le releveur de la paupière supérieure et décrit un *retractor bulbi oculi*, qui n'existe que chez les bovins. Il donne au cristallin une position moins centrale que dans les schémas arabes. Il ne nie pas qu'il soit l'organe de la vision, bien qu'il sache que, pour certains, celui-ci est peut-être la rétine (*Fabrica*, 1568, p. 329). L'idée du cristallin centro-oculaire n'a pu être abandonnée que lorsqu'on s'est aperçu qu'il n'était pas l'organe de la vision (erreur physiologique) ; que la cataracte n'était pas une formation précristallinienne, mais était le cristallin lui-même (erreur chirurgicale) ; enfin que, faute d'une bonne fixation de l'œil énuclé, le cristallin était luxé en arrière, dans le vitré (erreur anatomique).

Ces quelques remarques n'enlèvent rien à l'intérêt de ce livre qui, sous un petit volume, met à la disposition du lecteur l'essentiel de l'histoire de l'ophtalmologie.

P. HUARD.

René ONFRAY, *L'ophtalmologie française au XX^e^ siècle*, Les progrès de l'enseignement de la clinique et de la thérapeutique, Paris, Masson & C^ie^, 1959, 12 × 20 cm, 237 p.

Ancien secrétaire général de la Société française d'Ophtalmologie, dont il a été un membre très actif, le D^r^ Onfray était particulièrement qualifié pour écrire cet ouvrage très dense divisé en trois parties : L'enseignement et les techniques ; L'évolution de la clinique et de la thérapeutique ; L'hygiène et la médecine légale. L'histoire de l'ophtalmologie n'a pas été oubliée et fait l'objet d'un bref, mais substantiel paragraphe. On peut regretter l'absence d'une bibliographie et d'un index, chers aux auteurs anglo-saxons, mais qui eussent augmenté considérablement les frais de l'édition. La clarté du plan et la datation exacte de la plupart

des travaux y suppléent. Ce livre s'adresse d'abord aux ophtalmologistes, qui y trouveront un exposé magistral sur tout ce qui concerne l'ophtalmologie française, à partir de 1900. Mais les médecins auront également de quoi s'instruire, « les oculistes étant les moins spécialisés des spécialistes ». Pour l'historien de la médecine, qui sait combien sont rares les monographies consacrées à l'histoire des maladies et des disciplines médico-chirurgicales, il y a là une documentation très précieuse. Avec la double compétence du spécialiste et du témoin, R. Onfray restitue à cette évolution de l'ophtalmologie française, l'atmosphère intellectuelle dans laquelle elle s'est déroulée. De temps en temps, un bref portrait silhouette un homme connu : Trousseau, le petit-fils du grand Trousseau ; Valude, Kalt, Rochon-Duvignaud, Morax, etc. Au passage, quelques détails intéressants sur Daviel, qui introduisit en chirurgie l'exérèse du cristallin cataracté et sur Robert Houdin, prestidigitateur, célèbre sous le Second Empire, qui devint constructeur d'instruments ophtalmologiques dans sa retraite (cf. Guy Henry, Thèse de Paris, 1923). Le raccordement constant de l'ophtalmologie aux autres disciplines médicales et biologiques (Pasteur fut veillé dans son agonie par Morax), montre la grande unité des sciences médicales contemporaines.

Chemin faisant, l'auteur pose la question du syndrome de Claude Bernard-Horner, que Bonnet (*Archives d'ophtalmologie*, 1957) voudrait appeler syndrome de Cl. Bernard-Pourfour du Petit. Il est exact que Pourfour du Petit (1) (1664-1741) et Cl. Bernard (1857) firent les mêmes expériences sur le sympathique cervical. Mais où Pourfour ne vit que des symptômes oculaires (ptose palpébrale, myosis, énophtalmie), Cl. Bernard démêla le jeu de la vaso-constriction et de la vaso-dilatation. Les deux auteurs français ne furent d'ailleurs que des expérimentateurs qui n'observèrent jamais en clinique les troubles qu'ils avaient créés expérimentalement. L'étape clinique du syndrome est plus tardive (2). Elle est atteinte, mais non franchie, avec Hare (1839) et J. Reid (1809-1849). Bien que physiologiste, ce dernier passa à côté de l'explication physiologique. Johann Friedrich Horner (1831-1886) montra enfin (142 ans après Pourfour), que la triade oculaire (myosis, ptoses et énophtalmie) était due à une lésion du grand sympathique cervical (1869).

Le plan choisi excluait toute intrusion dans le domaine de l'ophtalmologie étrangère où pourtant des travaux analogues sont connus (3) (4) (5). Il serait intéressant d'en faire une étude comparative.

Nous souhaitons vivement que cet important ouvrage soit le premier d'une série portant sur d'autres disciplines médico-chirurgicales. De toute façon, l'auteur et l'éditeur doivent être félicités d'avoir publié un instrument de travail qui sera longtemps consulté avec profit.

P. Huard.

(1) Mémoire dans lequel il est démontré que les nerfs intercostaux fournissent des rameaux qui portent des esprits aux yeux. *Hist. Ac. Roy. des Sci.*, 1727.

(2) Cf. *Proc. Roy. Soc. Med.*, décembre 1929 et *Arch. of Surg.*, avril 1929.

(3) Duke-Elder, Ophtalmic research in Britain, *Ann. J. Opht.*, avril 1955, pp. 43-49.

(4) Berens, Fifty years of ophtalmology in the United States, *Am. J. Surg.*, 1941, pp. 188-213 (Bibliographie importante).

(5) Vall, *75 years of Medical Progress, 1879-1953*, Philadelphie, 1953.

R. Hoeppli, *Parasites and parasitic Infections in early Medicine and Science*, Singapore, University of Malaya Press, 1959, 526 p. + XXIII tables, 17,5 × 24,5 cm.

Le Pr Hoeppli, spécialiste éminent en parasitologie, vient de publier un beau volume contenant l'histoire de la parasitologie, de l'Antiquité jusqu'au milieu du XIXe siècle. C'est le premier livre dans lequel nous trouvons cette matière traitée de tous les points de vue. L'auteur nous démontre le rôle important des parasites dans l'ancienne médecine, ainsi que dans différentes religions et dans les croyances populaires, tout cela à partir de nombreuses sources authentiques.

Le livre est divisé en trois parties dont la première concerne l'Antiquité et le Moyen Age, la deuxième divers sujets parasitologiques, et la troisième les temps modernes à partir du XVIIe siècle jusqu'au milieu du XIXe siècle. La deuxième partie comprend un grand nombre de renseignements utiles et extrêmement intéressants sur des parasites vrais et imaginaires, sur les maladies provoquées par eux et leur traitement, sur différentes conceptions concernant l'origine des parasites ainsi que sur la génération spontanée, sur l'emploi thérapeutique et cosmétique des parasites, etc. D'une importance particulière sont les nombreuses données sur la parasitologie chinoise et sur les connaissances parasitologiques des autres peuples de l'Extrême-Orient parmi lesquels l'auteur a vécu une vingtaine d'années. Notons enfin les 23 tables qui servent d'illustration à ce volume et qui présentent différents parasites vrais et imaginaires, d'après des dessins anciens et tout à fait inconnus jusqu'à présent.

Ce livre constitue, par sa grande richesse de documentation, une œuvre de valeur, indispensable non seulement à tous ceux qui s'intéressent à l'histoire de la médecine et de la biologie, mais aussi aux historiens de la civilisation.

L. Glesinger (Zagreb).

Marie Christophe, *Histoire de la gale*, thèse de la Faculté de Médecine de Rennes, nº 65, 1959, 122 p., ronéotypée.

Après un bon exposé des travaux antérieurs au sien, l'auteur étudie séparément l'histoire de l'acare et l'histoire de la gale dans la littérature médicale chinoise, arabe et occidentale. Elle essaie enfin d'expliquer pourquoi il a fallu 2 000 ans à l'humanité pour se débarrasser d'une maladie dont la connaissance n'exigeait ni laboratoire, ni microscope et dont le traitement se trouvait dans la pharmacie galénique. Elle oppose la connaissance de l'acare (notion d'expérience essentiellement populaire et transmise oralement) à la connaissance de la gale (notion théorique et savante transmise en langue savante par les ouvrages médicaux de toutes les civilisations).

C'est seulement en 1836 que la technique millénaire de détection de l'acare put s'intégrer dans une médecine scientifique, débarrassée d'hypothèses pathogéniques non démontrées et éclairée par les progrès de la parasitologie. Un calendrier de la gale, une longue bibliographie terminent ce travail très complet et très documenté.

P. Huard.

Henry E. Sigerist, *On the Sociology of Medicine*, Edited by Milton J. Roemer. Foreword by James M. Mackintosh, New York, MD Publications, 1960, 24 × 17 cm, XIII + 397 p. Prix : $ 6,75.

Il s'agit d'un recueil posthume d'articles de Henry Sigerist (1891-1957) sur les implications sociologiques de la médecine. Sigerist était bien connu à la fois par ses recherches passionnées du passé médical et par sa lutte acharnée pour une médecine de plus en plus sociale. Il était le représentant de l'idée d'un humanisme suprême, à l'époque signée par les deux plus terribles guerres de toute l'histoire du monde.

Le livre contient 31 articles, dont 28 ont été publiés dans différentes revues, entre 1931 et 1955 ; les trois autres n'ayant, jusqu'alors, jamais vu le jour. Ce recueil, d'une présentation très soignée, commence par un essai synthétique : « Le médecin et son milieu », suivi d'une magnifique analyse de la psychologie et de la situation sociale du malade intitulée : « La position spéciale du malade. » D'une importance toute particulière est la série des articles sur les tendances modernes vers une médecine socialisée. Notons spécialement : « L'introduction à l'économie de la médecine. »

La deuxième partie du recueil contient des aperçus de la situation médico-sociale dans les divers pays, spécialement en U.R.S.S., aux États-Unis, en Yougoslavie, en Afrique du Sud et aux Indes. Ces aperçus sont parfois trop brefs, mais toujours d'une étonnante clairvoyance. Sous forme d'un rapport sur le XI[e] Congrès international d'Histoire de la Médecine, qui se déroula en 1938, à Zagreb, Belgrade, Sarajevo et Dubrovnik, Sigerist donne en réalité une riche documentation sur le passé médical des peuples yougoslaves et une description exacte et pondérée des problèmes médico-sociaux de la Yougoslavie d'avant-guerre. Il était très impressionné par les idées et réalisations de son ami — et notre maître regretté — A. Stampar.

Dans ses jugements, Sigerist n'était pas gêné par un nationalisme étroit, étant vraiment, comme les humanistes de la Renaissance, un *civis mundi*. Né à Paris de parents suisses, éduqué en Suisse et en Angleterre, il fut professeur en Allemagne et aux États-Unis, visita tous les continents et mourut sur les bords du lac de Lugano. C'est là, dans sa villa appelée symboliquement *Casa Serena*, que, plongé dans l'*otium* productif, se réjouissant, comme jadis Fracastoro, du pays où se mêlent le doux souffle de la Méditerranée et le vent glacial des Alpes, il écrivit sa grande *Histoire de la Médecine*. Malheureusement, par la force des lois biologiques, la tâche gigantesque qu'il s'était imposée devait rester inachevée.

La dernière partie du livre contient des articles sur quelques problèmes spéciaux de la sociologie médicale, par exemple sur l'histoire et la géographie des maladies, le développement des hôpitaux, les rapports entre la guerre et la médecine et, enfin, la communication magistrale : « Quelle est la contribution de la médecine au progrès de la civilisation », présentée au XIV[e] Congrès international d'Histoire de la Médecine à Rome, en 1954.

Sigerist a donné une nouvelle direction au travail des historiens de la médecine. Le passé n'est pas, pour lui, une chose morte, un ensemble de faits décrits et classés

pour satisfaire notre curiosité ou nos besoins d'esthétique, mais la racine vivante du présent et du futur, une arme puissante dans la lutte pour l'amélioration des conditions écologiques humaines.

M. D. Grmek.

Alain le Bozec, *Histoire de l'École de Chirurgie de Rochefort, de ses origines jusqu'au début du XIX^e siècle (1722-1836)*. Thèse de Bordeaux, 1959, imprimée, 142 p., 6 fig. et tableaux.

Rochefort a eu, sur le plan de la marine de guerre, une grande importance au XVIII^e et au XIX^e siècle et ce n'est pas par hasard que Pierre Loti était rochefortais. La création d'une école de chirurgie navale et d'un vaste hôpital furent donc nécessaires. Cet hôpital fut plusieurs fois rebâti. Les bâtiments actuels (datant de 1788), ont gardé toute la belle ordonnance que leur donna l'ingénieur Touffaire. Ils abritent une importante bibliothèque, très riche en ouvrages anciens de médecine et d'histoire naturelle, en portraits et en manuscrits. A cette bibliothèque est annexé un musée avec une belle collection d'instruments de chirurgie et d'appareils.

C'est en exploitant cette documentation, peu connue, que M. Le Bozec a étudié la création, les statuts, les réalisations et les illustrations de l'École de Rochefort.

1) Il montre bien l'originalité de cet établissement, conçu comme un centre d'instruction technique, ne dépendant pas de l'Université ou d'un Collège médical mais du ministère de la Marine.

2) Les programmes d'enseignement, loin de se limiter à la chirurgie, embrassent (bien avant la réorganisation des études médicales par la Convention) les trois branches de l'art de guérir ; médecine, chirurgie, pharmacie, faisant ainsi des chirurgiens de la Marine des praticiens complets. Un amphithéâtre d'anatomie, un cabinet d'histoire naturelle et un très beau jardin botanique (aujourd'hui détruit) étaient annexés à l'École.

3) Les élèves de l'École de Rochefort ont servi, non seulement dans la marine de guerre, mais encore au Canada, en Louisiane et aux Antilles. Un court mais substantiel chapitre bio-bibliographique leur est consacré.

Nous apprenons que l'École de Rochefort a aussi compté de grands naturalistes voyageurs comme René Lesson (1794-1849), membre de l'Académie des Sciences, et Quoy (1790-1869), correspondant de la même Académie, présenté en première ligne par les professeurs du Jardin des Plantes pour remplacer dans sa chaire Ducrotay de Blainville. Elle a eu aussi des anatomistes comme Cochon-Dupuy. En médecine, on retiendra les noms de Pierre Chirac (1650-1732), de Payen (1793-1838), de Repey (1780-1837), de Retz († 1810) et de Savigny (1793-1843), second chirurgien de la célèbre *Méduse*.

La chirurgie fut représentée par P. Cochon-Duvivier (1731-1813), Pierre Tuffet (1769-1828) et J.-B. Clemot (1776-1852), l'élève de Desault et l'ami de Dupuytren. Il a observé, sept ans avant Beauchêne, l'entrée de l'air dans les veines au cours des opérations cervicales et imaginé la taille vésico-vaginale. Il guérit deux malades atteints de cal vicieux du col fémoral par résection cunéiforme de l'os (décembre 1834), avant Rhea Barton (mai 1835), auquel la priorité de cette découverte est généralement attribuée. Ce fut un très grand opérateur.

Ce travail ne remplace pas le classique ouvrage d'André Lefèvre (*Histoire du Service de Santé de la Marine*, 1867). Il l'élargit et le complète d'une façon très heureuse, sans d'ailleurs épuiser l'énorme documentation des archives du Service de Santé de la Marine nationale.

Cette excellente thèse est illustrée de 6 portraits qui ornent la salle des actes de l'actuelle école annexe de Médecine Navale de Rochefort.

Pierre Huard.

Le Val-de-Grâce et l'École d'Application du Service de Santé militaire, Paris, S.P.E.I., 1, rue Rossini, 1959, 20 × 25 cm, 205 p., nombreuses illustrations en noir et en couleurs.

Cet ouvrage collectif est somptueusement illustré grâce à une publicité aussi abondante qu'obligatoire, puisqu'il s'agit d'un ouvrage hors commerce, gracieusement édité aux intentions du corps médical.

Il y a là une mine de renseignements. D'abord sur les bâtiments prestigieux qui constituent le Val-de-Grâce et qui sont l'objet d'une excellente étude du regretté médecin-colonel Hassenforder.

Les chapitres les plus importants sont consacrés à l'Hôpital d'Instruction et à l'École d'Application du Service de Santé militaire.

Le premier est installé depuis 1796 dans l'abbaye royale, fondée par Anne d'Autriche. En 1850, fut créée, dans les mêmes locaux, l'École d'Application du Service de Santé militaire. L'évolution de l'École et de chacune de ses 8 chaires fait l'objet d'autant de chapitres consacrés à l'École du Val-de-Grâce, à l'épidémiologie, à l'hygiène militaire, à la chirurgie d'armée, à la chirurgie réparatrice de guerre, à la tactique sanitaire, à l'électro-radiologie, à la législation et à l'organisation sanitaire de l'armée, enfin, à la chimie biologique.

Pour chaque chaire, les titulaires et les agrégés sont l'objet d'une courte étude mettant en lumière, chemin faisant, des noms célèbres comme ceux de Villemin, de Kelsch, de Laveran, de Dopter, de Sacquépée, de Delorme, de Mignon, de R. Picqué, de Hirtz, de Poggiale, etc.

Il faut louer l'École du Val-de-Grâce et son directeur, le médecin général inspecteur Pesme, de cette belle réalisation.

P. Huard.

Le Service de Santé des Armées en Algérie, (1830-1958), Paris (9e), S.P.E.T., 1, rue Rossini, 1958, 20 × 25 cm, 291 p.

Il s'agit d'un numéro spécial de *Regards sur la France*, réservé au corps médical. Après un premier chapitre indiquant le rôle du Service de Santé dans la conquête de l'Algérie, les chapitres suivants sont consacrés à la pathologie médicale et chirurgicale, à l'assistance médicale civile, à la pharmacie militaire, au corps des officiers d'administration ; au Service de Santé de la Marine et de l'Air ; au Service de Santé vétérinaire, tout ceci de 1830 à nos jours. Cet ouvrage luxueusement illustré et présenté par le médecin général inspecteur Debenedetti, directeur des Services de Santé des Armées, intéressera l'historien de la médecine par l'abondante documentation qu'il lui apporte et dont il convient de féliciter les auteurs, appartenant tous au Service de Santé des Armées.

La pathologie médicale passe en revue le paludisme et les fièvres typhoïdes (méd.-commandant Darbon) ; le choléra et les dysenteries (méd.-commandant Dulac) ; le typhus, les fièvres recurrentes, la syphilis, le bouton d'Orient, les fièvres et la conjonctivite granuleuse (Portal).

L'évolution de la pyrétologie est particulièrement instructive. Les désastres dus aux conceptions de Broussais suscitent l'opposition d'Antonini (1789-1845), de Maillot (1804-1894) et de Laveran père. Peu à peu, la différenciation se fait entre les fièvres paludéennes et typhoïdes et la quinine remplace heureusement la saignée automatique. Ultérieurement, la découverte de l'hématozoaire par Laveran fils (1880), la systématisation du séro-diagnostic de Widal (1888) et l'introduction de la vaccination antityphoïdique (Vincent, 1912), montrent l'importance des travaux faits en Algérie.

Même remarque pour le typhus recurrent qui entre dans sa phase scientifique, en 1907, avec Folley, puis Edmond Sergent. Successivement ils mettent en évidence le rôle du pou (1907-1908), l'efficacité de la thérapeutique arsénicale (1911) et le séro-diagnostic (1914).

L'historique des hôpitaux reprend un travail antérieur du médecin-colonel Tarayre (1). Il est suivi de celui de l'enseignement de la médecine en Algérie, à partir d'une École préparatoire fondeé par Bertherand (1859) et devenue successivement École de Plein exercice (1889) et Faculté (1909).

Chemin faisant, une série de courtes notices est consacrée aux personnalités du corps de santé militaire : Baudens (1804-1857), Chevreau, Antonini, Marchal de Calvi (1851-1873), Ceccaldi (1802-1869), Maillot, Guyon (1794-1870), Sédillot (1804-1883), Boudin (1806-1867), Tripier (1801-1864), Bertherand (1815-1887), Jacquot (1819-1857), Millon (1812-1867), Kelsch (1841-1911), Keiner (1814-1895), Treille, Balland (1845-1927), A. Laveran (1845-1922), Vincent (1862-1950), Schneider († 1912), Sieur (1860-1955), Cange (1871-1934), Foley (1903-1956), Tournade (1881-1942).

L'histoire médicale de l'armée navale devant Alger (1830) est retracée avec beaucoup de précision par le médecin général Quérangal des Essarts, directeur central du Service de Santé de la Marine.

Nous avons négligé quelques chapitres sans rapport avec l'histoire de la médecine. Celle-ci a suffisamment à glaner dans cette série d'études qui déborde le cadre du service de santé militaire pour aborder celui de la pathologie générale et exotique.

P. Huard.

Éliane Provost, *Bio-bibliographie de Léon Le Fort (1829-1893)*, thèse de la Faculté de Médecine de Rennes, n° 60, 1959, 65 p., ronéotypée.

Gendre de Malgaigne (1806-1865) et beau-père de Lejars (1863-1932), Le Fort établit la liaison entre la chirurgie pré-antiseptique et la chirurgie aseptique. Sa vie nous est parfaitement connue par ses œuvres complètes, sa bibliothèque, ses papiers conservés par sa petite-fille Mme de Lavignère et une partie de sa corres-

(1) Tarayre, *Étude générale des Hôpitaux Militaires d'Algérie après la conquête*, 1947.

pondance, léguée par sa fille à l'Académie de Médecine. Grand voyageur, il a été en rapport avec tous les chirurgiens étrangers de son temps. Enfin, il s'est occupé non seulement de chirurgie, mais encore de la réforme des hôpitaux et de l'enseignement médical ; de la vaccination antivariolique ; du sort des blessés en temps de guerre ; de politique et d'aviculture. Son grand mérite est d'avoir montré, avant Pasteur et Lister, que l'infection purulente et la fièvre puerpérale n'étaient pas des maladies épidémiques, mais se propageaient uniquement par contact. Par la propreté manuelle et instrumentale, par la suppression des éponges et de la charpie, par l'isolement des opérés et des parturientes, les chirurgiens et les accoucheurs pouvaient donc supprimer ces maladies. Scientiste, avocat du progrès social, Le Fort fait figure, en bien des points, de précurseur et intéresse beaucoup plus l'historien que des chirurgiens plus prestigieux que lui. Dans un travail sérieux et documenté, Mme Prévost a bien mis en évidence les différents aspects de sa riche personnalité.

P. Huard.

Ambix. The Journal of the Society for the Study of Alchemy and Early Chemistry, Cambridge, England, W. Heffer & Sons Ltd., années 1957, 1958 (vol. VI, nos 1, 2, 3) ; année 1959 (vol. VII, nos 1, 2, 3 ; 165 et 174 p.

Cette revue contient, en plus d'articles originaux consacrés à l'histoire de l'alchimie et de la chimie ancienne, des comptes rendus très détaillés des livres parus sur ces matières.

Vol. VI, fasc. 1 : H. E. Stapleton, *The Gnomon ;* D. Geoghegan, *A Licence of Henry VI to practise Alchemy ;* W. A. Smeaton, *L. B. Guyton de Morveau (1737-1816) ;* Martin Lewey, *Tanning Technology in Ancient Mesopotamia.*

Vol. VI, fasc. 2 : J. Reidy, *Thomas Norton and the « Ordinall of Alchemy » ;* H. J. Sheppard, *Gnosticism and Alchemy ;* D. Geoghegan, *Some indications of Newton's attitude towards Alchemy.*

Vol. VI, fasc. 3 : F.W. Gibbs, *Boerhaave's Chemical Writings ;* Douglas McKie, *On five hitherto unrecorded copies of Jean Rey's « Essays » of 1630 ;* H. J. Sheppard, *Egg symbolism in Alchemy ;* Martin Lewey, *Research sources in Ancient Mesopotamian Chemistry.*

Vol. VII, fasc. 1 : Lynn Thorndike, *Some Medieval texts on Colours ;* Dorothea Waley Singer, *On a 16 th. Century Cartoon concerning the Devilish Weapon of Gunpowder ;* Lynn Thorndike, *Uncatalogued Texts in Ms. Alls Souls College 81, Oxford ;* H. J. Sheppard, *The Redemption theme and Hellenistic Chemistry ;* W. A. Smeaton, *F.-J. Bonjour and his translation of Bergman's « Disquisitio de Attractionibus Electivis ».*

Vol. VII, fasc. 2 : Ho Ping-Yü and Joseph Needham, *The Laboratory Equipment of the early Mediaeval Chinese Alchemist.*

Vol. VII, fasc. 3 : Ts'ao T'ien Ch'in, Ho Ping-Yü and Joseph Needham, *An early Mediaeval Chinese Alchemical text on aqueous solutions ;* M. Plessner, *The turba philosophorum ;* Karl Frick, *The rediscovered original Ms. « Ehrenrettung der Alchymie » of the Tübingen Alchemist Johann Conrad Creiling (1673-1752).*

S. Colnort.

Monspeliensis Hippocrates, revue de la Société montpelliéraine d'Histoire de la Médecine, 9 numéros parus (1958-1960). Abonnement d'un an (4 numéros) : 15 NF.

On se doit de signaler aux lecteurs de la présente revue celle éditée par la filiale montpelliéraine de la Société française d'Histoire de la Médecine dont le premier numéro parut à l'occasion du XVI[e] Congrès international d'Histoire de la Médecine (Montpellier, septembre 1958).

Le prestigieux passé médical de Montpellier justifiait absolument cette entreprise qui a été jusqu'ici couronnée de succès et dont il convient de féliciter très vivement l'éditeur, M. E. Causse et le rédacteur en chef, le D[r] L. Dulieu.

Chaque numéro de format 21 × 27 cm comporte 34 pages, une couverture en couleurs qui évoque un aspect de l'histoire médicale de Montpellier et qui varie pour chaque numéro.

Les auteurs des très intéressants articles publiés jusqu'à ce jour ne nous en voudront pas si faute de place nous ne pouvons citer ici les titres de leurs contributions.

Mentionnons cependant les études de J. Turchini, F. Granel et L. Dulieu (n° 1) ; d'Irissou, Cadier, Huard et Wong, Escuret (n° 2) ; Pansier, Pagès (n° 3) ; Boeynaems, Estor (n° 4) ; Busacchi, Euzière, Vinchon (n° 5) ; Wickersheimer, Chabrillat et Dulieu, Appolis, Rousset (n° 6) ; Jourda, Elaut, Chabbert (n° 7) ; De Lavalette du Coëtlosquet, Harant et Vidal (n° 8), Huard, Verd et Wong (n° 9), qui apportent toutes des contributions originales sur divers aspects de la médecine à Montpellier, du Moyen Age à nos jours.

Ajoutons qu'à la fin de chaque numéro se trouvent une liste des ouvrages reçus et des analyses bibliographiques.

Par l'originalité de ses articles, la beauté et la richesse de l'iconographie et sa luxueuse présentation, ce périodique constitue une des plus intéressantes revues d'histoire de la médecine publiées en langue française.

J. Théodoridès.

Le gérant : P.-J. Angoulvent.

1961. — Imprimerie des Presses Universitaires de France. — Vendôme (France)
ÉDIT. N° 25 772 Dépôt légal : 1-1961 IMP. N° 16 471
IMPRIMÉ EN FRANCE

ÉDITIONS DU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

I. — *PUBLICATIONS PÉRIODIQUES*

LE BULLETIN SIGNALÉTIQUE

Le Centre de Documentation du C.N.R.S. publie un *BULLETIN SIGNALÉTIQUE* dans lequel figurent sous la forme de courts extraits classés par matière tous les travaux scientifiques, techniques et philosophiques, publiés dans le monde entier.

Troisième partie (trimestrielle) — Abonnement annuel :

Philosophie, Sciences humaines..... France NF. 40 » — Étranger NF. 50 »

TIRAGES A PART *(troisième partie)* — Abonnement annuel :

Histoire des Sciences et des Techniques. France NF. 10 » — Étranger NF. 13 »

Abonnement au CENTRE DE DOCUMENTATION DU C.N.R.S.
16, rue Pierre-Curie, PARIS (5e)

C. C. P. PARIS 9131-62 Tél. : DANton 87-20

II. — *OUVRAGES*

LES CAHIERS DE PAUL VALÉRY

Ces cahiers se présentent sous la forme de 32 volumes d'environ 1 000 pages, au format 21 × 27, contenant la reproduction photographique du manuscrit et d'environ 80 aquarelles de l'auteur.

Ils peuvent être achetés dans les conditions suivantes :

1) Volumes reliés ..... NF. 1 600 »
(NF. 640 » payables à la commande et NF. 30 » à la parution de chacun des volumes.)

2) Volumes sous étuis ..... NF. 1 740 »
(NF. 780 » payables à la commande et NF. 30 » à la parution de chacun des volumes.)

Les volumes ne sont pas vendus séparément.
Le tome X contient 18 aquarelles de l'auteur reproduites en couleur.

ŒUVRES COMPLÈTES DE MALEBRANCHE

Direction : ANDRÉ ROBINET.
(En coédition avec la librairie J. VRIN, 6, place de la Sorbonne, Paris (5e).)

Ces œuvres seront publiées sous forme de 20 tomes. Sont actuellement parus :

Tome V : **Traité de la nature et de la grâce**, par G. DREYFUS (1958, pp. 6-LVIII-228) ..... NF. 24 »

— X : **Méditations chrétiennes et métaphysiques**, par H. GOUHIER et A. ROBINET (pp. 6-XXIV-254)..... NF. 24 »

— XV : **Entretien d'un philosophe chrétien et d'un philosophe chinois**, par A. ROBINET (1958, pp. 6-XXXIV-92)... NF. 9,90

— XVI : **Réflexions sur la prémotion physique**, par A. ROBINET (1958, pp. 6-XXII-228) ..... NF. 18 »

III. — *COLLOQUES INTERNATIONAUX*

XXXVII : **Les machines à calculer et la pensée humaine** ..... NF. 20 »

LXV : **Analyse factorielle et ses applications**..... NF. 15 »

Sciences humaines :

II : **Léonard de Vinci et l'expérience scientifique au XVIe siècle** NF. 15 »
(Le colloque Léonard de Vinci est en vente aux Presses Universitaires de France.)

Renseignements et vente au :

Service des Publications du C.N.R.S.
13, quai Anatole-France — PARIS (7e)

C.C.P. PARIS 9061-11 Tél. INValides 45-95

continuant et complétant

L'HISTOIRE GÉNÉRALE DES CIVILISATIONS

paraît en 4 volumes illustrés une

HISTOIRE GÉNÉRALE DES SCIENCES

Publiée sous la direction de René TATON, l'HISTOIRE GÉNÉRALE DES SCIENCES donne en quatre volumes un panorama de l'évolution scientifique considérée dans sa totalité comme un élément essentiel de l'histoire humaine.

Tandis que les figures et tableaux insérés dans le texte facilitent la compréhension de certains développements, des planches en héliogravure dont la valeur d'authenticité a été sévèrement contrôlée restituent l'ambiance de la vie scientifique aux diverses époques de l'histoire.

L'HISTOIRE GÉNÉRALE DES SCIENCES n'est pas un répertoire encyclopédique à l'usage des érudits, mais une vaste synthèse des idées et des faits scientifiques au cours des âges, conçue, dans le cadre des notions nouvelles sur l'histoire des civilisations, comme *un élément de culture générale*

volumes parus

TOME I

LA SCIENCE ANTIQUE ET MÉDIÉVALE

(DES ORIGINES A 1450)

Un volume in-4° couronne de 636 pages, avec 48 planches hors-texte en héliogravure, relié pleine toile, sous jaquette illustrée en 4 couleurs et laquée **NF. 30 »**

TOME II

LA SCIENCE MODERNE

(DE 1450 A 1800)

Un volume in-4° couronne de 808 pages, avec 48 planches hors-texte en héliogravure, relié pleine toile, sous jaquette illustrée en 4 couleurs et laquée **NF. 38 »**

à paraître en 1961

TOME III

LA SCIENCE CONTEMPORAINE (De 1800 à 1960)

I. *Le XIX^e siècle* — II. *Le XX^e siècle*

PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE

108, boulevard Saint-Germain, PARIS (6^e)

1961. — Imp. des Presses Universitaires de France. — Vendôme (France)

IMPRIMÉ EN FRANCE